

## ОТЗЫВ

на диссертационную работу Могилевцевой Д.И. на тему: «Оценка эффективного модуля общей деформации песчаного массива, усиленного по методу «Геокомпозит».

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 124 наименований. Объем работы составляет 182 страницы машинописного текста, включая 63 рисунка и 9 таблиц.

Актуальность избранной темы заключается в том, что в настоящее время здания и сооружения все чаще возводятся на искусственно преобразованном основании, в том числе по технологии «Геокомпозит» с использованием гидроразрыва применительно к лессовым, песчано-глинистым, а также заторфованным и различным техногенным грунтам. При взаимодействии фундаментов с преобразованными основаниями возникает сложное и неоднородное напряженно-деформированное состояние (НДС) от которого зависят осадки и крены фундаментов. Количественная оценка этих величин неизбежно связана с определениями приведенного или эффективного модуля неоднородного основания (преобразованной толщи) в целом. Действительно, любое здание и сооружение должно проектироваться в обязательном порядке по второму предельному состоянию т.е. по деформациям, а именно по осадке и разности осадок, которые не должны превышать допустимых значений для данного вида зданий и сооружений ( $S_r \leq S_{r,н}$ ,  $\Delta S_r \leq \Delta S_{r,н}$ ), причем эти величины в первую очередь зависят от эффективных модулей деформаций основания.

Степень обоснованности научных положений выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации заключается в том, что автор диссертации выполнила большой объем лабораторных испытаний на базе аттестованной лаборатории ИГЭ РАН в соответствии с ГОСТ. Кроме того, проведены полевые исследования физико-механических свойств на различных площадках, в том числе электродинамическое зондирование, штамповые испытания, наблюдения за осадками построенных зданий на преобразованном основании по технологии «Геокомпозит». На основании этих исследований и их анализа автор сформулировал основные выводы и рекомендации.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что для определения эффективного модуля деформации преобразованного основания по технологии «Геокомпозит» применена теория композитных материалов, матрицей которых являются слабые грунты, а внедренными элементами - грунтово-цементные включения. Выполнены экспериментальные исследования смесей песка с различными включениями по форме, долей объема и характера ориентации армирующих включений. Показано существенное влияние этих включений от их содержания в песчаной матрице на эффективный модуль деформации.

Сопоставлены результаты по оценке модуля общей деформации, определенные разными методами, в том числе: по осадкам зданий с использованием данных полученных из проектов, в результате электродинамического зондирования, расчете по обратному правилу смеси, по фактическим осадкам, а также методам последовательного усреднения.

Предложена расчетная формула и выбран оптимальный метод для оценки эффективного модуля общей деформации инженерно-геологического элемента с учетом включенного цементного камня и получена зависимость этого показателя от объема нагнетаемого раствора в затвердевшем состоянии.

Дана оценка влияния стальных инъекторов на модуль общей деформации массива, усиленного методом «Геокомпозит».

Практическая значимость работы, полученная по результатам экспериментальных и теоретических исследований, заключается в том, что они дают возможность выделить наиболее оптимальные объемные доли включений для достижения эффективных параметров деформируемости и прочности композита.

Использование теории композитов для расчета НДС геомассивов, матрицей которых являются слабые грунты, а внедренными элементами - цементные включения, позволяет теоретически и численно оценить эффективность усиления ИГЭ, в том числе, в зависимости от объемной доли нагнетаемого, твердеющего раствора и установить оптимальный объем инъектирования для достижения необходимых эффективных механических свойств (модуль общей деформации, приведенная прочность).

#### Содержание работы

В первой главе приводится обзор работ посвященных исследованию механических свойств композитных материалов, учитывающих различные факторы: состав, размеры, формы, объемная доля включений в общей матрицы и прочие. Обзор составлен в достаточном объеме профессиональным языком и анализирован. В обзоре нет критических оценок работ. В частности, не отмечено, что большинство работ посвящены сплошной среде, где матрица и включения спаяны между собой без возможности взаимного перемещения, т.е. большинство не имеют отношения к дисперсной среде.

Во второй главе рассматриваются массивы грунта, как структурно неоднородная среда, в том числе моренные отложения, где матрица это песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые грунты, а включения глыбы, валуны, галька и другие обломки твердых пород. Отмечается, что в этом случае массив можно рассматривать, как композит. Рассматриваются, также толщи слоистых отложений, которые обладают анизотропией. Рассматривается также массив из трещиноватых скальных грунтов, который нельзя считать сплошной средой. В обзоре отмечаются методы математического моделирования этих массивов для определения эффективных модулей деформации. Основной упор сделан на методы основанные на правилах простой смеси, что не всегда применительно к грунтовой среде.

Третья глава посвящена геотехногенным массивам, как структурно неоднородным средам, представляющим часть грунтовой толщи улучшенной методами технической мелиорации с образованием пространственной структуры-массива. Описываются методы создания геотехногенных массивов инъекцией вяжущих веществ по разным технологиям. Приводится обзор методов определения эффективных характеристик геотехногенного массива на основе механических композитов, т.е. гетерогенных сред.

Глава четвертая посвящена инъекционному усилению по технологии «Геокомпозит». Отмечается, что основным несущим элементом является грунтоцементная плита, дополняемая вертикальными и горизонтальными защитными экранами.

В пятой главе приводятся результаты исследований физико-механических свойств геокомпозитных смесей, созданных на основе песчаной матрицы. Испытаны различные виды композитов армированных твердыми включениями в условиях компрессии и сдвига. Отмечается, что добавки, включенные в матрицу приводят к росту угла трения и это зависит от объемной доли включений в матрице, причем эта зависимость связана с формой и размером включений. Аналогичная ситуация наблюдается с модулем деформации. Отмечается, что при 30% включений

образуется объемный каркас из включений, препятствующий переупаковке включений в матрице. Приводится описание механизма деформирования такой структуры. В связи с этим, следует отметить следующее: при образовании каркаса из включений матрицей гетерогенной среды становится каркас из твердых включений, а заполнителем становится песчаный грунт. Классическим примером такого композита является крупнообломочный гравелистый грунт с песчаным заполнителем.

Отмечается, что значения эффективного модуля общей деформации, полученные по результатам лабораторных испытаний и расчетам методом обратного правила смеси, не учитывается форма и ориентация включений и механизм их контактных взаимодействий между собой. Отмечается также, что влияние цилиндрических включений приводит к несовпадению расчетных и экспериментальных модулей Ю особенно если они ориентированы перпендикулярно плоскости сдвига. Кроме того, не учитывается неоднородность НДС, т.е. распределение общего напряжения между матрицей и включениями, в том числе концентрация напряжений вокруг жестких включений.

Шестая глава посвящена полевым исследованиям по оценке эффективного модуля общей деформации песчаного массива, усиленного по методу "Геокомпозит", причем эффективный модуль оценивается для ИГЭ и для массива в целом. Оценка эффективного модуля общей деформации проводилась с помощью метода электродинамического зондирования и с помощью расчета по обратному правилу смеси. Сделаны соответствующие выводы об увеличении сопротивления сдвигу с ростом доли включений.

Оценивая работу в целом положительно, можно отметить следующее:

- выполнен большой объем экспериментальных и теоретических исследований неоднородных грунтов на основе песчаной матрицы и их анализ с позиции различных теорий композитов, в том числе основанной на обратном правиле смеси;
- показано, что повышение несущей способности песчаной толщи при создании геокомпозита с применением технологии гидроразрыва и армированными микро - сваями достигается за счет:
  - уплотнения грунта, подтвержденного данными ЭДЗ;
  - заполнения пустот и гидроразрывных трещин цементным раствором (камнем);
  - формированием армированных микро-свай;
- подтверждено, что массивы грунтов можно изучать с точки зрения теории композитов и рассматривать их как структурно - неоднородную среду;
- проведена сравнительная оценка эффективного модуля общей деформации с применением ЭДЗ, по обратному расчету и штамповым испытаниям;
- разработаны методы количественной оценки эффективных модулей деформации массива, усиленного методом "Геокомпозит".

Вместе с тем, необходимо отметить следующие недостатки в работе:

1. Теория композитов разработана в основном для сплошных неоднородных сред, в которых матрица и армирующие элементы спаяны между собой и взаимное их перемещение по контакту не предусматривается. Следовательно, теория композитов сплошных сред не всегда может быть

использована для описания НДС неоднородных дисперсных сыпучих грунтов с твердыми включениями. Исключения могут представлять трещиноватые скальные грунты, армированные цементом в трещинах, слоистое основание и др.

2. Количественная оценка эффективного модуля деформации неоднородных грунтов, матрицей которых являются песчаные и глинистые грунты с твердыми включениями, по теории, основанной на методах правила смеси, не всегда применима к грунтовой среде, т.к. не учитывается неоднородность НДС в композите.

3. Количественная оценка эффективного модуля деформации неоднородных грунтов, матрицей которых являются песчаные и глинистые грунты с твердыми включениями по теории, основанной на методах правила смеси, не всегда применима к грунтовой среде. Использование методов по правилам смеси для определения эффективного модуля неоднородных грунтов с крупными включениями может быть рассмотрено, как первое приближение, т.к. они основаны на усреднении упругих свойств по объему и объемных долях элементов и оценке значений модуля упругости сверху и снизу энергетическим методом, что трудно представить для дисперсной грунтовой среды, где НДС формируется в изотермическом режиме. Эффективные модули деформации, рассчитанные по правилу механического смешивания (правила смесей) полагают, что напряжение распределены равномерно по всему объему неоднородного грунта. На мой взгляд, следует исходить из условия равных деформаций (объемы и формы) составных элементов композита и неоднородного НДС в композите. В этом случае можно определить не только эффективные (приведенные) модули деформации, но и определить напряжения приходящие на матрицу и на включения в зависимости от общего напряжения пропорционально их жесткостям и долям.

4. Приводится аналогия между механизмом движения включений в песчаной матрице и механизмом шарикоподшипника, полагая что в обоих случаях реализуется трение качения, которое значительно меньше. К сожалению, автор диссертации не довел эту идею до расчетной модели, что было бы существенным вкладом в теорию композитов неоднородных грунтов.

5. На стр. 104 диссертации имеется опечатка. Уравнение предельного равновесия названо по имени Гука, а не Кулона.

Сделанные замечания не умаляют ценность выполненных исследований на высоком теоретическом уровне, посвященным одной из трудных проблем механики грунтов - механики неоднородных грунтов, которая существенно отличается от механики композитов сплошных сред, в том числе строительных материалов (бетон, железобетон, армированное стекло, пластмасса и др.).

Основные научные результаты диссертации опубликованы в трех рецензируемых научных журналах, в том числе в журнале «Геоэкология».

В целом диссертация является научно-квалифицированной работой посвященной одной из актуальных проблем - оценке эффективного модуля общей деформации песчаного массива, усиленного по методу «Геокомпозит», и соответствует требованиям ВАК. Автор диссертации Могилевцева заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата геолого - минералогических наук по специальности 25.00.08 - Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Официальный оппонент  
Профессор, доктор технических наук  
Заведующий кафедрой механики грунтов и  
геотехники МГСУ

*Подпись Тер-Мартirosян З.Г. заверено*  
*Могилевцева*

З.Г. Тер-Мартirosян