

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЛЕССОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ МАССОВОЙ СЕРИЙНОЙ ЗАСТРОЙКИ

А.И. Тищенко, И.А. Корнеев, М.Н. Агапов

Основным количественным показателем энергетических признаков структуры лессовых грунтов является величина силы сцепления между твердыми структурными элементами в единичном контакте. Такие силы получили название структурных связей [1]. Структурные связи в лессовых грунтах - результат суммарного действия сил притяжения и отталкивания.

На практике применяют различные методы определения прочности индивидуальных контактов в глинистых грунтах. Расчетный метод определения прочности индивидуальных контактов основан на знании величины макроскопической прочности структуры P_c и микроскопического параметра χ - число контактов в единице площади сечения разрушения. Прочность индивидуального контакта P_1 определяется по формуле

$$P_1 = \frac{P_c}{\chi} \quad (1)$$

На этом основан «Бразильский метод» и метод испытания «грунтовых балочек» на изгиб ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии». Помимо расчетного метода определения прочности индивидуального контакта существует ряд прецизионных методик по прямому измерению силы сцепления к контактам между твердыми телами, которые дают представление о величине структурных связей между глинистыми минеральными частицами. Одним из первых экспериментов по прямому измерению сил сцепления между твердыми телами стали опыты, проведенные Б.В. Дерягиным и И.И. Абрикосовой с помощью микровесов с отрицательной обратной связью. В ходе этих опытов была впервые измерена величина молекулярного взаимодействия между кварцевой пластиной и линзой, получена зависимость силы молекулярного взаимодействия от расстояния, рассчитана константа Гамакера A , составляющая для кварца $5 \cdot 10^{-21}$ Дж. Анализ результатов этих экспериментов показал, что сила молекулярного притяжения между микротелами на расстояниях около 100 нм составляет 10^{-8} Н.

В дальнейшем Б.В. Дерягин и другие исследователи экспериментально установили

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2 2007

существование предсказанного теорией ДЛФО энергетического барьера. Опыты проводились в растворах электролитов, в которых изучалось энергия взаимодействия между скрещенными металлическими нитями. Затем была создана высокочувствительная установка, моделирующая контакт коллоидных частиц и основанная на измерении взаимодействий тонких кварцевых нитей в воздушной среде [2]. Измерителем силы в установке была подвижная рамка фотоэлектрического усилителя с вертикальной осью вращения. Силу, действующую на образец, жестко закрепленный на рамке фотоэлектрического усилителя, определяли по силе тока в рамке с точностью 10^{-10} Н. Перемещение образца осуществлялось за счет изменения сопротивления одного из плеч сбалансированной мостовой схемой, включающего фотосопротивление фотоэлектрического усилителя, и измерялось с точностью 10^{-9} м. Экспериментальные исследования, проведенные на описанной установке, позволили определить значение сложной константы Гамакера A_{101} и константы полностью запаздывающих молекулярных сил B , а так же уточнить ход энергетической кривой на расстояниях от 10 до 150 нм. Для кварца $A_{101} = 4,5 \cdot 10^{-20}$ Дж, $B = 1 \cdot 10^{-28}$ Дж·м (B - постоянная молекулярная сила натяжения).

Кроме того, Я.И. Рабинович и Б.В. Дерягин создали модифицированную установку, позволяющую измерять силы взаимодействия в жидких средах. Эксперименты, проведенные со скрещенными стеклянными нитями в 0,1 М растворе КСl дали возможность получить энергетическую кривую на малых расстояниях (до 5 нм) и оценить глубину дальнейшего потенциального минимума. Так, для двух стеклянных нитей с радиусами $R_1=0,5$ мм и $R_2=0,6$ мм в 0,1 М растворе КСl этот показатель составил примерно $3 \cdot 10^{-6}$ Дж/м².

Существует также способ непосредственного измерения сил сцепления в контактах между отдельными твердыми частицами в широком диапазоне (10^{-8} - 10^{-3} Н), позволяющий изменять условия формирования контактов - материал частиц, усилие поджима, окружающую среду, температуру [3, 4]. В

качестве нагружающего элемента и измерителя силы используют высокочувствительную магнитоэлектрическую систему гальванометра. Сила измерялась с точностью 10^{-8} Н. При проведении эксперимента две частицы, одна из которых жестко закреплена на стрелке гальванометра, а другая – на манипуляторе, сближаются до соприкосновения. Момент контакта фиксируется с помощью длиннофокусного микроскопа. Усилие поджима и отрыва частиц создается при пропускании тока через рамку гальванометра в одном направлении и в другом. Измеряемая сила соответствует прочности контакта на разрыв, то есть отражает суммарное действие структурных связей в контакте. Устройство позволяет проводить измерения на воздухе и в жидких средах при температурах от комнатной до 200C° .

С помощью указанной установки были проведены прямые измерения сил сцепления в коагуляционном, переходном и фазовом контактах.

В.П.Ваганов экспериментально исследовал и описал другой механизм формирования фазовых контактов за счет образования в определенных физико-химических условиях зародыша контакта - первичного мостика, соединяющего минеральные частицы. Прямые измерения, проведенные с помощью рассмотренной выше магнитоэлектрической системы, показали, что между кристалликами двуводного гипса в пересыщенных растворах сульфата кальция формируются фазовые цементационные контакты с $P_1 \geq 10^{-6}$ Н.

Особую трудность при проведении экспериментов по прямому измерению сил сцепления в контактах представляет точная фиксация момента соприкосновения частиц и определения площади контакта после его разрушения. В.Н. Соколов и В.Г. Бабак [5, 6] разработали специальное устройство, позволяющее исследовать контактные взаимодействия непосредственно в камере образцов РЭМ – растрового электронного микроскопа. При определении силы сцепления между частицами или микрокристаллами один образец размещается на стандартном гониометрическом устройстве РЭМ, а второй закрепляется на держателе, жестко связанном с магнитоэлектрической системой, собственная жесткость которой $9 \cdot 10^{-3}$ Н/м. Плавное сближение образцов, их взаимный поджим и последующий отрыв осуществлялись за счет пропускания тока через рамку системы. Точность измерения механических усилий в области контакта образцов составляет $5 \cdot 10^{-9}$ Н, а диапазон измеряемых сил 10^{-3} - 10^{-8} Н.

Но расчетный метод и прямые методы определения прочности индивидуального контакта между твердыми структурными элементами оснований зданий имеют некоторые недочеты. В расчетном методе невысока его точность, так как число контактов в единице площади сечения разрушения принимается по графической зависимости среднего числа частиц от узла до узла от пористости. Прямые методы измерения прочности индивидуального контакта требуют высокочувствительных установок и измерения производят в растворах электролитов, что недопустимо при определении прочности индивидуального контакта между твердыми структурными элементами образцов лессовых грунтов оснований зданий не нарушенной структуры.

Наиболее близки по своим свойствам к лессовым грунтам формовочные смеси, применяемые в литейном производстве. Авторы предлагают взять за аналог ГОСТ 23409.7-78 «Пески формовочные, смеси, формовочные и стержневые. Методы определения прочности на сжатие, растяжение и изгиб» (рис. 1).

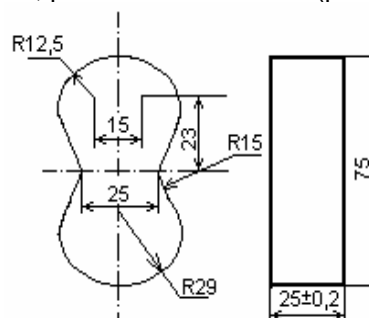


Рис. 1. Пробоотборник

После этого образцы помещают в соответствующие приспособления прибора для определения прочности и результаты фиксируют по показанию прибора.

Можно сформулировать общие требования, предъявляемые к разрабатываемому прибору. Прибор для определения прочности индивидуальных контактов между твердыми структурными элементами лессовых грунтов должен:

1. Обеспечивать плавно нарастающее усилие, прикладываемое к образцу. Должна обеспечиваться возможность ручного сброса усилия, фиксации текущего усилия (прекращение роста усилия), возобновление роста прикладываемого к образцу усилия после временной фиксации. Должна быть исключена возможность подачи на образец импульсного усилия, которое может приводить к разрушению образца даже при малых напряжениях на разрыв.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЛЕССОВЫХ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ МАССОВОЙ СЕРИЙНОЙ ЗАСТРОЙКИ

2. Определять с заданной точностью момент разрушения или деформации образца. Пороговая точность изменения геометрических размеров образца, которая фиксируется как деформация или разрушение, должна задаваться регулировкой. Для образца длиной порядка 10 см изменение размеров свыше нескольких миллиметров может считаться его разрушением, изменение в пределах долей миллиметра – пластической деформацией, при которой процессы образования трещин начинают интенсивно развиваться.

3. При разрушении образца или его деформации, превышающей пороговый уровень, запоминать величину действующего в этот момент на образец напряжения, сразу же после этого необходимо полностью сбросить прикладываемое напряжение во избежание разрушения конструкции. При возможности пластической деформации образца будет запоминаться значение напряжения, которое имело место по достижению установленного по п. 2 порогового уровня.

4. Обладать достаточной помехозащищенностью, быть устойчивым к возникающим при разрушении образца частицам грунта.

5. Обеспечивать достаточно простой и наглядный способ калибровки для возможности проведения сравнения получаемых результатов с апробированными методами и приборами.

После разрушения со специально подготовленного образца выполняют снимок поперечного сечения на РЭМ и дешифрируют снимки с определением количества частиц. На основании этих общих требований можно предложить практически реализуемую конструкцию прибора, выделить его основные узлы и элементы.

Электронная часть прибора должна содержать следующие основные функциональные узлы:

1. Узел, задающий величину действующих на образец механических напряжений. Достаточно очевидным решением является использование интегратора, который обеспечивает сброс, запуск линейно растущей развертки и останов.

2. Узел, определяющий момент разрушения или критической деформации образца. В состав этого узла должны входить два последовательно включенных блока, которые работают практически независимо друг от друга: датчик перемещения, связанный с од-

ним из концов образца (другой конец образца предполагается неподвижным), и пороговое устройство, определяющее момент разрушения или критической деформации образца. В качестве датчика перемещений можно использовать емкостные, индуктивные и оптические датчики. Пороговое устройство может включать в себя фиксатор начального уровня.

3. Узел, обеспечивающий усиление и передачу сигнала интегратора на исполнительный механизм, который прикладывает усилие к образцу грунта. Узел должен обеспечивать сброс действующего на образец напряжения по команде интегратора. Приемлемым решением является усилитель мощности, коэффициент передачи которого по команде порогового устройства может обращаться в ноль. В качестве исполнительного механизма может использоваться аналог электромагнитного реле (на подвижную ферромагнитную часть держателя образца действует сила притяжения со стороны соленоидальной катушки) или электродвигатель постоянного тока, подключенный через механическую передачу (редуктор, червячная передача).

Блок логики управления обеспечивает синхронное взаимодействие узлов. Например, срабатывание порогового устройства должно не только сбрасывать коэффициент усиления, но и останавливать интегратор, который сохраняет величину действующего на образец усилия при срабатывании порогового устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергеев Е.М. Грунтоведение. – М.: Изд-во МГУ, 1983.
2. Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.П. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985.
3. Яминский В.В., Пчелин В.А., Амелина Е.А. и др. Коагуляционные контакты в дисперсных системах. – М.: Химия, 1982.
4. Щукин Е.Д., Перцев Н.В., Осипов В.И. и др. Физико-химическая механика природных дисперсных систем. – М.: Изд-во МГУ, 1985.
5. Бабак В.Г., Козуб С.П., Соколов В.Н. и др. Методика прецизионного измерения энергии взаимодействия конденсированных тел в различных физико-химических условиях. – Изв. АН СССР, т.41, 1977.
6. Сергеев Е.М. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. – М.: Недра, 1984.