

О ВОПРОСЕ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ, МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРНОГО КОМПЛЕКСА

И.А. Корнеев

Основной необходимостью всех крупных городов России является реконструкция, перепрофилирование и изменения функционального назначения зданий старого жилого фонда - массовых серий застройки 50 - 60 гг. XX века. Большинство российских городов расположены на берегах крупных рек, вследствие чего основаниями этих зданий преимущественно являются лессовые просадочные грунты. При длительной эксплуатации зданий в их основаниях происходит ряд внутренних процессов, который приводит к изменению прочностных и деформационных свойств лессовых грунтов.

В нашем регионе автором была проведена значительная работа по выявлению основных закономерностей изменения свойств лессовых просадочных грунтов в основаниях зданий при их длительной эксплуатации.

Были проведены исследования изменения прочностных и деформационных характеристик лессовых просадочных грунтов в основаниях зданий с различными сроками их эксплуатации, которые колебались в пределах от 10 до 40 лет.

Был выполнен анализ микроструктуры лессовых просадочных грунтов непосредственно под подошвой фундамента, в естественном состоянии и при различных степенях компрессионного уплотнения для зданий с различными сроками эксплуатации.

Была определена средняя прочность индивидуальных контактов между частицами грунта в основаниях длительно эксплуатируемых зданий в зависимости от сроков их эксплуатации, а так же в естественном состоянии.

Было выявлено формирование новой структуры лессовых грунтов в основаниях длительно эксплуатируемых зданий.

Результатом этой работы было получение зависимостей изменения прочностных и деформационных характеристик лессовых просадочных грунтов оснований от сроков эксплуатации зданий и прогнозирование этих изменений.

Для экспериментальных исследований была выбрана площадка, застроенная пяти

этажными жилыми зданиями, основаниями которых являются лессовые просадочные грунты. Исследуемые здания выбраны по следующим признакам:

1) все здания находятся в идентичных инженерно-геологических условиях;

2) здания имеют различные сроки эксплуатации от 10 до 40 лет;

3) все здания являются 5-ти этажными жилыми зданиями с наличием подвального помещения, имеют идентичные серийные конструкции ленточных фундаментов и близкое по величине давление на грунты оснований, которое находится в пределах от 0,25 до 0,3 Мпа и не превышает расчетного сопротивления грунтов.

Прогнозирование изменений этих свойств грунтов без специальных исследований весьма затруднительно. В процессе исследования природы деформаций лессовых грунтов было установлено, что их прочность определяется прочностью и числом связей, слагающих грунты частицами, в единице объема. Уплотнение глинистого грунта связано с взаимным перемещением в более компактное состояние слагающих его частиц.

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. Таким образом прочность индивидуального контакта P_1 определяется по формуле:

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

О ВОПРОСЕ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ, МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРНОГО КОМПЛЕКСА

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, проведенными 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 [2].

Но расчетный метод и прямые методы определения прочности индивидуального контакта между твердыми структурными элементами оснований зданий имеют некоторые недостатки. 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». Образцы лессового грунта оснований зданий не нарушенной структуры отбирают специальным пробоотборником (рис.1).

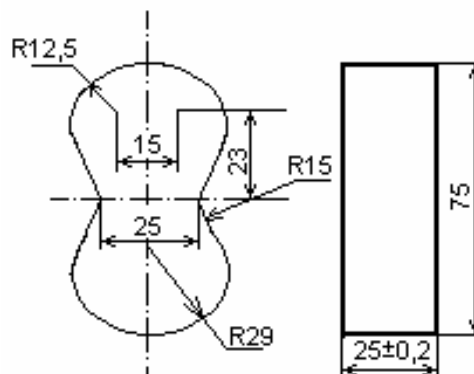


Рис. 1. Пробоотборник

Значительное влияние на величину сил сцепления в контактах глинистых частиц оказывает содержание влаги. В лессовых грунтах, представляющих собой трехфазные системы, с влажностью от максимальной гигроскопической до нижнего предела пластичности следует учитывать присутствие капиллярных менисков, которые стягивают частицы и повышают структурную связанность [3].

Влажностью грунта называют отношение массы воды, содержащейся в данном объеме грунта, к массе этого объема грунта. В лабораторных условиях определение природной влажности грунта выполняют весовым способом. Этот способ достаточно трудоемок, требует специального оборудования (весы с точностью 0,01 г, сушильный шкаф) и больших затрат времени, т.к. образцы необходимо высушить не менее 6 часов и дать им остыть не менее 30 – 40 минут. Важно отметить, что после определения природной влажности образцов грунта весовым способом, образцы непригодны для дальнейших испытаний.

Существуют и другие методы измерения влажности лессовых грунтов. Одним из самых распространенных способов определения влажности грунтов является кондуктометрический метод. Он основан на зависимости между влажностью грунта и его электрическим сопротивлением. Датчики таких влагомеров большей частью выполняются в виде игольчатых щупов и гребенок [4].

Недостатками кондуктометрического метода являются:

- необходимость обеспечения постоянного, электростабильного контакта электрод-грунт;
- влияние на результат измерения состава грунта - наличие солей и других электропроводящих примесей.

Молдавским научно-исследовательским институтом был разработан специальный

влажномер грунта «ДНЕСТР». В основу работы этого прибора положена зависимость между влажностью грунта и электродвижущей силой, которая возникает вследствие поляризации платиновых электродов при пропускании через грунт, заключенный между электродами, постоянного тока. Особенностью влажмера этой системы является то, что и практически не реагирует на соли и другие электропроводящие примеси. Данный влажмер укомплектован буром и щупом. Бур предназначен для отбора проб грунта с разных глубин. Проба, взятая буром из шурфа, закладывается в приемник-датчик, смонтированный на панели прибора. Датчик имеет два пластинчатых контакта и стойку из плексигласа, в которую помещают пробу [4].

Указанные выше методы и приборы имеют общий значительный недостаток, при их использовании образцы грунта непригодны для дальнейших испытаний. Было отдано предпочтение именно емкостному методу вследствие его простоты, недорогой реализуемости и достаточно высокой точностью измерения. Главным его достоинством является возможность неразрушающего измерения влажности образцов грунта.

Количественная оценка прочностных признаков структуры лессовых грунтов основывается на представлениях физико-химической механики дисперсных материалов, согласно которым прочность дисперсной породы зависит не столько от механических свойств минеральных частиц, сколько от силы сцепления между ними и числа контактов в единице площади сечения разрушения. Для определения этого основного параметра разработана следующая конструкция прибора для определения прочности индивидуальных контактов между твердыми структурными элементами лессовых грунтов.

Механическая часть прибора (рис. 2) конструктивно представляет собой станину 1 с приспособлением регулировки в горизонтальной плоскости 2, с закрепленными на ней неподвижной платформой 3, втягивающим реле 4 и второй подвижной платформой 5.

Подвижная платформа совершает поступательные движения вдоль станины с направляющими по подшипникам качения, при этом поверхности обеих платформ выполнены в одной плоскости. К подвижной платформе прикреплен флажок втягивающего реле 6. На плоскости сомкнутых платформ крепится неподвижно раздвижная кассета 7 с испытуемым образцом грунта 8. Калибровка по усилию сдвига подвижной платформы вы-

полняется с помощью весовых мер, вследствие чего весом платформы и трением качения в подшипниках можно пренебречь.

Конструкция, монтаж подвижной и неподвижной платформ также позволяют пренебречь неплоскостностью поверхностей платформ при контроле разрыва образца грунта. При срабатывании втягивающего реле происходит сдвиг подвижной платформы и, как следствие, разрыв образца грунта.

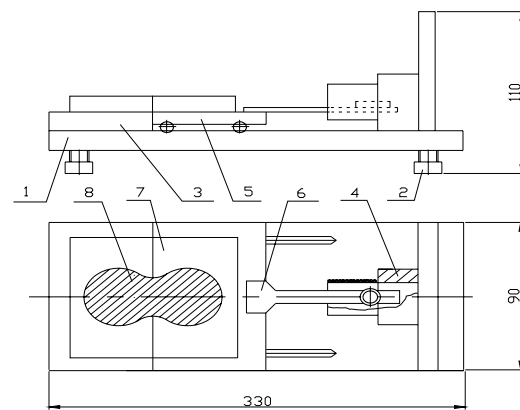


Рис. 2. Конструкция механической части прибора

Датчик, определяющий момент разрушения или пластическую деформацию исследуемого образца грунта, должен быть не чувствительным к возможному попаданию на него частиц грунта при разрушении образца. Очевидным следствием этого требования является бесконтактная конструкция датчика, исключающая возможность засорения движущихся частей. Оптические датчики нами были признаны непригодными из-за возможности загрязнения. Из-за простоты и надежности конструкции был выбран индуктивный дифференциальный преобразователь с перемещающимся сердечником.

Малая нелинейность (менее 10% во всем диапазоне перемещения тяги между приемными катушками на расстоянии до 50 мм) позволяет фиксировать малые смещения тяги во всем диапазоне с одинаковой точностью. Это в принципе позволяет испытывать на разрыв образцы разной длины и не слишком заботиться о точности начальной установки тяги в датчике. В любом случае смещение тяги на заданную величину при деформации или разрушении образца приведет к скачку выходного сигнала датчика, величина которого практически не зависит от начальной точности установки тяги.

После разрушения образцов регистрируется усилие разрыва. Учитывая универсаль-

О ВОПРОСЕ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИЯХ ДЛИТЕЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ, МЕТОДЫ ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИБОРНОГО КОМПЛЕКСА

ность растрового электронного микроскопа при исследовании твердых тел, которая заключается в множестве взаимодействий электронов пучка внутри образца как информацию о природе объекта (формы, состава и т.д.) [5], образцы грунта готовятся для этого вида микроскопа. Затем полученные снимки поверхности образцов грунта сканируются и оцифровываются для электронного анализа на ЭВМ. Обработка результатов выполняется с использованием программного комплекса «Promik» по образцам грунта с увеличением от $\times 200$ до $\times 1500$ для исключения статистически недостоверной информации. В результате компьютерного анализа по программе «Promik» получаем количество и размеры твердых структурных элементов лессового грунта. Зная усилие разрыва и количество твердых структурных элементов, входящих в поперечное сечение образца, определяем прочность индивидуальных контактов.

В качестве дублирующего, более точного средства контроля момента разрушения исследуемого образца лессового грунта, при определении прочности индивидуальных контактов, применяется бесконтактный линейный электроемкостный измерительный преобразователь микроперемещений.

Бесконтактные измерители микроперемещений широко используются для контроля различных неэлектрических величин. Наиболее точными средствами для бесконтактного измерения микроперемещений являются лазерные интерферометры и оптоэлектронные приборы. Емкостные приборы, уступая по точности оптическим, имеют более простую конструкцию, малые габариты и вес и меньшее энергопотребление и поэтому, согласно проведенным статистическим исследованиям, обладают наибольшим приоритетом в перспективе развития [6].

Данный преобразователь позволяет контролировать микроперемещение подвижной платформы относительно неподвижной с закрепленной на их плоскостях кассетой с образцом грунта. Конструктивно он представляет собой П-образный преобразователь с краевой емкостью с дополнительными электродами. Данный тип преобразователя имеет линейную статическую характеристику, наиболее стабилен, помехоустойчив и конструктивно прост в изготовлении. Кроме того, данный тип преобразователя строго рассчитан, в зависимости от диапазона перемещения контролируемого объекта, что обеспечивает вы-

сокие метрологические характеристики, например при диапазоне измерения 0 ± 500 мкм абсолютная погрешность составляет 0,2 мкм [7].

Первичный преобразователь крепится на станине разрывного приспособления. Перемещение заземленной поверхности (подвижная платформа) вызывает изменение емкости, измеряемое уравновешенным трансформаторным мостом переменного тока. Изменение емкости преобразователя вызывает разбаланс моста, который компенсируется цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП), являющимся управляемым делителем синусоидального напряжения. ЦАПом управляет устройство уравнивания, которое работает по принципу следящего уравнивания и изменяет цифровой код на входе ЦАПа в сторону уменьшения или увеличения в зависимости от знака сигнала, снимаемого с фазового детектора усилителя [8].

Полученные данные близки по значениям с результатами, полученными другими авторами, различными методами, и это наглядно подтверждает правомерность разработанной конструкции комплекса приборов для определения прочности индивидуальных контактов между твердыми структурными элементами лессовых грунтов.

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. Петров И.К., Щукин А.И. Методы и отечественные приборы для измерения, автоматического контроля и регулирования влажности твердых тел. – М.: ЦИНТИ ЭЛЕКТРОПРОМ, 1962.-111 с.
4. Берлинер М.А. Измерения влажности. — М.: Энергия, 1973. - 400 с.
5. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: в 2-х кн.; Пер. с англ./ Гоулдсейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П. и др. – М.: Мир, 1984.
6. Гришин П.П. и др. Емкостные средства измерения диаметра протяженных цилиндрических изделий и линейных перемещений. – М.: НИИТЭХИМ. - №4. - 1989.
7. Горбова Г.М., Чепуштанов А.А. Прецизионные бесконтактные электроемкостные приборы для контроля линейных перемещений. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.-11с. (Препринт №240 -2000).
8. Пат. 2147726 RU, МКИ G01B7/14, G 01 D 5/24, 2000.