

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОНТАКТОВ МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

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

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 (рисунок 1) конструктивно представляет собой станину 1 с приспособлением регулировки в горизонтальной плоскости 2, с закрепленными на ней неподвижной платформой 3, тягивающим 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.

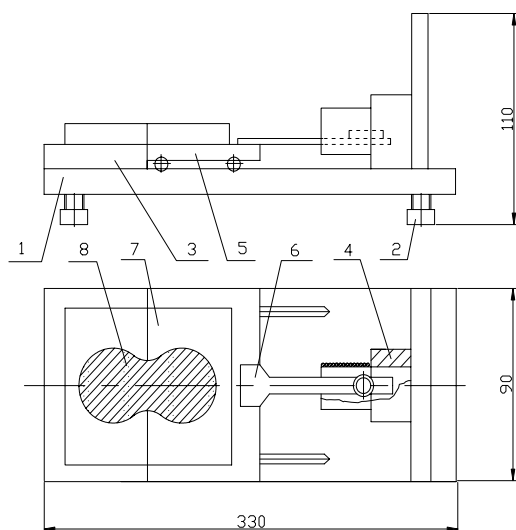


Рис. 1. Конструкция механической части прибора

К подвижной платформе прикреплен флажок тягивающего реле 6. На плоскости сомкнутых платформ крепится неподвижно раздвижная кассета 7 с испытуемым образ-

цом грунта 8. Калибровка по усилию сдвига подвижной платформы выполняется 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 тягивающего реле происходит сдвиг подвижной платформы и, как следствие, разрыв образца грунта.

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.

Общий вид датчика представлен на рисунке 2.

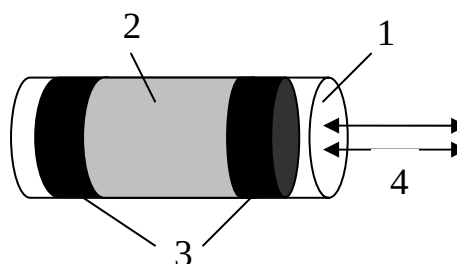


Рис. 2. Основные элементы датчика перемещения: длина датчика ~60мм, диаметр ~25мм

Датчик состоит из трёх катушек, намотанных на немагнитный диэлектрический цилиндр 1. Диаметр основания подобран так, чтобы внутри датчика свободно перемещалась тяга 4 передачи разрывного усилия к образцу. На немагнитной тяге закреплен ферритовый сердечник, который перемещается вместе с тягой относительно катушек

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОНТАКТОВ МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

датчика. Катушка 2 используется для возбуждения ЭДС в идентичных приёмных катушках 3, которые включены встречно друг другу, как показано на рис.3. Приёмные катушки дифференциального датчика должны быть с высокой точностью одинаковыми и содержат по 50 витков, катушка возбуждения содержит 100 витков. Для изготовления датчика использовался обмоточный медный провод в лаковой изоляции (рисунок 3).

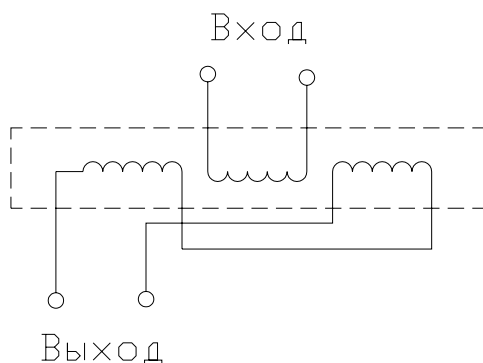


Рис. 3. Схема включения обмоток датчика

На вход катушки возбуждения подается сигнал генератора. Главным требованием к сигналу генератора является стабильность амплитуды и отсутствие высокочастотных составляющих в спектре. Для датчика описанной выше конструкции частота генератора должна быть 100-200 кГц.

Если ферритовый сердечник находится посередине катушки возбуждения, то в приемных катушках возбуждаются равные ЭДС, при этом выходной сигнал в соответствии с приведенной схемой включения приемных катушек равен нулю. При смещении ферритового сердечника изменяется коэффициент связи между катушкой возбуждения и приемными катушками, и на выходе появляется не равное нулю переменное напряжение. В зависимости от направления смещения сердечника выходное напряжение либо совпадает по фазе с сигналом возбуждения, либо находится с ним в противофазе.

Измеренная при калибровке зависимость амплитуды выходного напряжения датчика в зависимости от смещения ферритового сердечника приведена на рисунке 4. При смещении сердечника в границах приемных катушек выходной сигнал с хорошей линейностью пропорционален величине смещения, при выходе сердечника за границы приемных катушек амплитуда сигнала быстро падает до нуля.

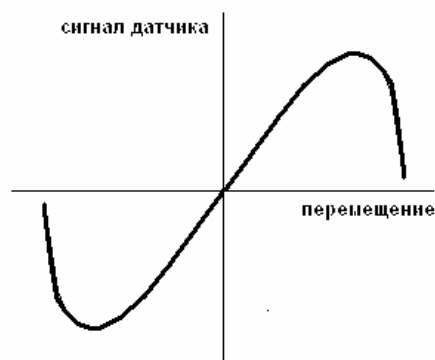


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения датчика от положения сердечника

Малая нелинейность (менее 10% во всем диапазоне перемещения тяги между приемными катушками на расстоянии до 50мм) 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.

Для преобразования переменного сигнала с выхода датчика в сигнал постоянного тока нами использовался аналоговый множитель на базе микросхемы 140МА1. Здесь выполняется перемножение выходного сигнала датчика на сигнал генератора, для синфазных синусоидальных сигналов результат перемножения получается положительным, для противофазных — отрицательным.

При наличии в спектре сигнала возбуждения высокочастотных (ВЧ) составляющих, которые по фазе не связаны с основным сигналом генератора, эти ВЧ составляющие могут вносить свой вклад в результат перемножения. Полоса рабочих частот микросхемы 140МА1 превышает 30 мГц, поэтому наличие ВЧ составляющих в обмотке возбуждения может приводить к несистематическим погрешностям выходного сигнала.

Сигнал приемных катушек пропорционален величине сигнала генератора возбуждения, поэтому результат перемножения пропорционален квадрату амплитуды сигнала генератора. Именно отсюда вытекает упомянутое выше требование стабильности выходного напряжения генератора.

Для возбуждения датчика нами использовались два варианта генератора прямоугольных импульсов, обеспечивающих стабильную амплитуду выходного сигнала. Амплитуда определяется в первую очередь величиной напряжения питания. В первом варианте использовалась схема генератора на триггере Шмидта 155ТЛ1 (рисунок 5).

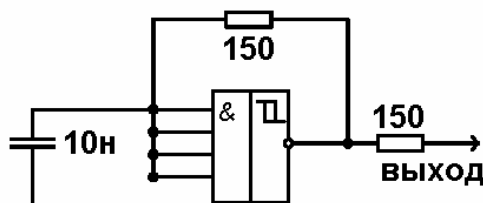


Рис. 5. Вариант реализации генератора на микросхеме 155ТЛ1

Второй вариант генератора был собран на микросхеме таймера 555 в типовой схеме включения (рисунок 6).



Рис. 6. Вариант реализации генератора на микросхеме таймера 555

Прямоугольный сигнал с выхода генератора для подавления высокочастотных составляющих сглаживался пассивным RC фильтром второго порядка с частотой среза, превышающей частоту генератора, и подавался на обмотку возбуждения. Принципиальных отличий в работе прибора с разными генераторами обнаружено не было.

Дифференциальный сигнал приемных катушек подается на Y-входы микросхемы 140МА1 (типовое включение, входы XX). Цепь R_{y1} , R_{y2} , C_y отфильтровывает наведенные на приемных катушках помехи радиочастотного диапазона. Сглаженный сигнал генератора подается на X-входы 140МА1, результат перемножения выделяется на резисторах R_{k1} , R_{k2} (рисунок 7). Между этими

резисторами установлен конденсатор C_k , на котором выделяется постоянная составляющая перемножителя.

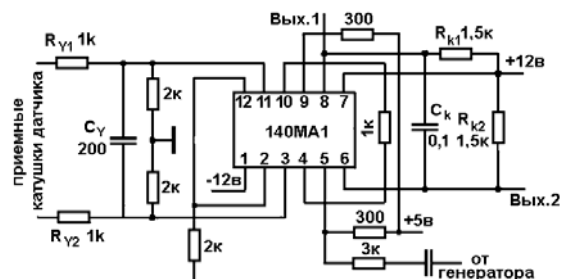


Рис. 7. Схема включения перемножителя 140МА1

Разностный сигнал с выходов перемножителя (вых.1, вых.2), формируемый относительно напряжения питания +12В, с помощью усилителя М1 (рисунок 8) превращается в сигнал V_{det} относительно земли, соответствующей текущему значению положения датчика перемещения. Каскад М2 на базе интегрирующей цепочки с большой постоянной времени ($\tau \sim 5$ мин) формирует опорное значение напряжения V_{ref} , относительно которого проводится обнаружение сигнала перемещения V_{det} . Операционный усилитель (ОУ) М2 должен иметь малый ток утечки, оптимальным является использование ОУ с полевыми транзисторами на входе типа 544УД1.

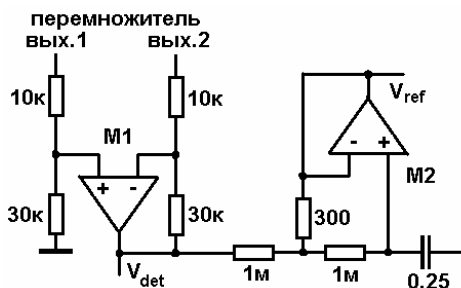


Рис. 8. Схема выделения сигналов для определения момента разрушения образца

При отсутствии напряжения в образце грунта сигнал V_{det} не изменяется, и сигнал V_{ref} за ~ 10 мин становится с высокой точностью равным V_{det} . Усилитель М2 не реагирует на любые быстрые изменения сигнала и сохраняет установленное в нем значение. Поэтому в процессе увеличения нагрузки на

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ КОНТАКТОВ МЕЖДУ ТВЕРДЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

образце относительно V_{ref} можно определять изменение V_{det} и задавать величину порога такого изменения.

В реализованной нами схеме (рисунок 9) выход напряжения V_{det} за пороговый уровень определялся двумя компараторами К1 и К2: один компаратор определяет выход сигнала за пороговый уровень вверх, другой – вниз.

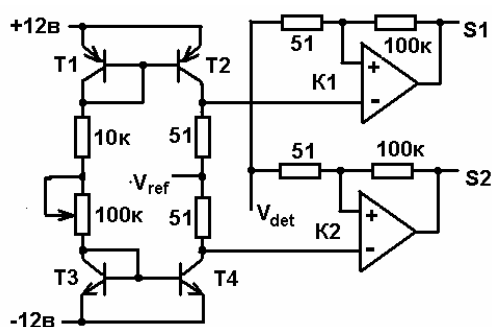


Рис. 9. Схема, выделяющая момент разрушения образца грунта

Равные величины пороговых уровней относительно V_{ref} ($V_{ref} - \Delta V$, $V_{ref} + \Delta V$) формируются за счет падения напряжения ΔV на одинаковых резисторах R_0 при протекании тока, задаваемого регулируемым генератором тока на транзисторе T_0 . Для повышения

устойчивости схемы при срабатывании компараторов К1 и К2 введена положительная обратная связь с гистерезисом около десяти милливольт. Для простоты сопряжения с логикой управления прибором желательно использовать компаратор с уровнем выходных сигналов S_1 и S_2 от нуля до +5в, нами использовался компаратор 554СА3 с соответствующим включением цепей питания.

Изменение любого сигнала $S_1 - S_2$ означает смещение тяги передачи усилия к образцу, при этом величина смещения превышает установленный пороговый уровень. В использованном нами приборе при срабатывании компаратора:

- включался светодиод и звуковая индикация;
- полностью снималось разрывное усилие, подаваемое через исполнительный механизм на образец;
- фиксировалось для последующего измерения усилие в момент разрыва образца.

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