

Результат интегрирования сигнала  $\Delta U(t)$  имеет вид

$$U_{\text{инт}}(t) = -\frac{E}{T} \int_0^t (1 - m - e^{-t/\tau}) dt = -\frac{E}{T} [t(1 - m) + \tau(e^{-t/\tau} - 1)].$$

Решение уравнения  $U_{\text{инт}}(T_0) = 0$  при условии  $t = T_0 \gg \tau$  имеет следующий вид:

$$T_0 = \frac{\tau}{1 - m}.$$

Момент  $T_0$  равенства нулю интеграла (4) показан на графике 3.

Разработанный метод измерения предполагает значения коэффициента  $m < 1$ . На рис. 1 приведены графики для значения  $m = 0,9$ . Для значений  $0,8 \leq m < 1$  методическая погрешность измерения не превышает значения

$$e^{-T_0/\tau} = e^{-5} < 0,01.$$

Результат измерения имеет размерность времени, пропорционален измеряемой величине  $\tau$  и не зависит от величины опорного напряжения  $E$  и постоянной интегрирования  $T$ .

Разработанный способ позволяет повысить помехозащищенность измерителя за счет операции интегрирования и исключить инструментальные погрешности основных функциональных блоков, реализующих требуемые математические операции.

Также не требуется операция выделения свободной составляющей переходного процесса.

Предлагаемый способ обладает повышенной точностью и помехозащищенностью по сравнению с известными способами и устройствами.

#### Литература

1. Способ определения параметров многоэлементных двухполюсных цепей : пат. 2210081 Рос. Федерация, МПК С 1 G 01 R 27/02 / Н. Н. Хрисанов, Д. Б. Фролагин ; заявитель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Самар. техн. ун-т. – № 2009117011/28 ; заяв. 12.07.01 ; опубл. 10.08.2003.
2. Способ определения параметров многоэлементных двухполюсных цепей : пат. 2310872 Рос. Федерация, МПК С 2 G 01 R 27/26 / Н. Н. Хрисанов ; заявитель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Самар. техн. ун-т. – № 2005128367/28 ; заяв. 09.12.05 ; опубл. 20.11.2007.

УДК 621.314

### ЭЛЕКТРОННАЯ БОРТОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ ДОРОЖНЫХ КАТКОВ

А. В. Ковалев, Д. А. Литвинов, В. А. Хананов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Для создания качественного и ресурсного дорожного покрытия наряду с используемыми материалами и технологиями его создания большую роль играет основа, на которой создается участок дороги, и степень ее уплотнения.

Проведенные ведущими учеными-дорожниками исследования в этой области свидетельствуют о следующем:

– увеличение плотности в целом способствует повышению прочности и снижению степени деформации грунта до определенного предела, соответствующего данной влажности, однако при некоторых условиях попытки получить большую плотность могут привести к эффекту переуплотнения, связанному с изменением агрегатного состава грунта;

– асимптотический характер той или иной зависимости может отражать достаточно малый эффект от дополнительного уплотнения в зоне, где плотность грунта приближается к фактически предельно достижимой [1].

Отсюда следует однозначный вывод: существует диапазон степени уплотнения грунта, при достижении которого работу дорожных строителей можно считать эффективной. При коэффициенте уплотнения ниже требуемого необходимые механические и водно-физические характеристики не будут достигнуты, а чрезмерное уплотнение грунта ведет к финансовым потерям (рабочее время, топливо) и может привести к снижению прочности из-за эффекта переуплотнения.

При выполнении дорожных работ и строительстве дорог возможны два варианта контроля степени уплотнения грунта и покрытия: контроль инструментальный с приостановкой технологического процесса или контроль параметров средствами технологического оборудования, которое выполняет уплотнение или укладку покрытия.

К инструментальным средствам можно отнести оборудование, контролирующее прочность, плотность, влажность и толщину покрытия. Эти виды контроля осуществляются различными методами, такими, как механический, диэлектрический (электромагнитный) и радиоизотопный. В большинстве своем все отмеченные методы имеют свои недостатки, обусловленные длительным временем получения результата или необходимостью адаптации и тарировки к свойствам уплотняемого материала [2]–[4].

Современные производители технологического оборудования для создания дорог внедряют средства непрерывного контроля степени уплотнения основания или дорожного покрытия в составе своей техники, которые в процессе укладки или трамбовки дают их операторам информацию о проделанной работе. Это позволяет сократить количество проходов технологического оборудования по участку дорожного полотна, обеспечив при этом требуемые для него параметры. Одним из видов такого оборудования является дорожный вибрационный каток, который одновременно с планировкой поверхности осуществляет уплотнение покрытия и основы посредством вибрации.

В докладе предложен вариант электронной бортовой системы контроля уплотнения основы (ЭБСКУО) дорожного полотна для вибрационного дорожного катка.

Асфальтобетонное покрытие получают в результате укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси. Чаще всего это горячие асфальтобетонные смеси с температурой уплотнения 140–80 °С. Нарастание прочности происходит не только за счет повышения плотности, но и по мере остывания смеси. К концу процесса уплотнения (при температуре 80–70 °С) прочность слоя такова, что он трудно поддается уплотнению даже тяжелыми катками. С учетом того, что остывание смеси происходит со скоростью 1° в минуту, времени, отведенного на формирование необходимой плотности дорожного покрытия (в соответствии с требованиями СНиП), остается очень

мало. За это время необходимо осуществлять операционный контроль плотности покрытия и совершить катками требуемое количество проходов.

Очевидно, что для обеспечения требуемого коэффициента уплотнения следует динамически отслеживать плотность покрытия и в зависимости от полученного результата корректировать уплотняющее воздействие. В качестве метода определения плотности был выбран ударный метод. Тарирование выходного сигнала предполагается осуществлять с помощью бортовой системы контроля, в которой тип покрытия будет задаваться оператором. Поправочный коэффициент, соответствующий заданному типу покрытия, будет храниться в постоянной памяти бортовой системы.

Метод основывается на следующем принципе: сопротивление удару пропорционально степени уплотнения грунта. Для преобразования сигналов (датчика ускорений) в значение степени уплотнения необходим измерительный преобразователь, на выходе которого присутствует сигнал о степени уплотнения и частоте вибраций. Достоинством такого метода является низкая стоимость основанных на нем датчиков. Дополнительно в ЭБСКУО введен канал измерения температуры дорожного полотна, чтобы контролировать соблюдение технологической карты создания дорожного полотна.

Структурная схема ЭБСКУО приведена на рис. 1. Она функционально состоит из двух основных модулей: первичных преобразователей, которые преобразуют степень уплотнения грунта, частоту вибрации, скорость движения шасси и температуру дорожного покрытия в аналоговые выходные сигнал и модуля информирования для оператора катка, находящегося в кабине.

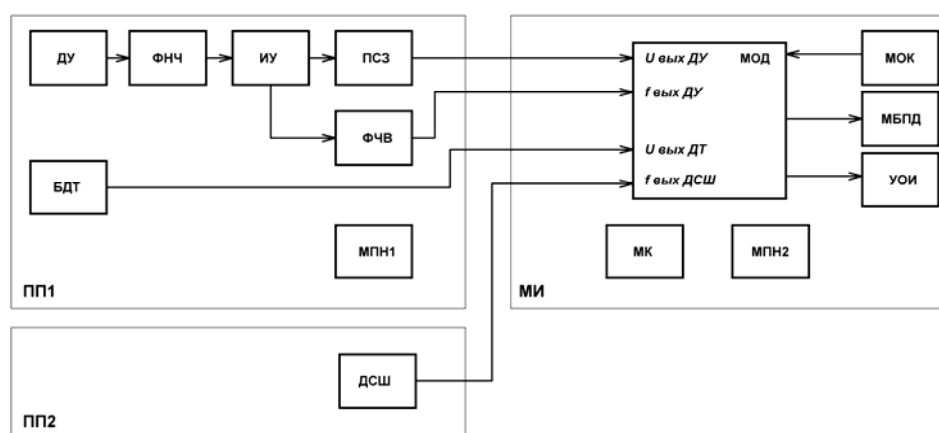


Рис. 1. Структурная схема ЭБСКУО

Первичный преобразователь ПП1 монтируется на основании вальца катка и состоит из следующих блоков:

- ДУ – датчик ускорения, предназначенный для преобразования ускорения виброперемещения в электрический сигнал;
- ФНЧ – фильтр нижних частот, необходимый для выделения полезной частоты вибраций;
- ИУ – избирательный усилитель переменного напряжения, предназначенный для усиления сигнала с датчика ускорения;

– ПСЗ – преобразователь среднего значения, предназначенный для преобразования амплитуды выходного напряжения усилителя переменного напряжения в постоянное напряжение;

– ФЧВ – формирователь частоты вибраций, формирующий прямоугольные импульсы, частота которых пропорциональна частоте вибрации катка;

– БДТ – бесконтактный датчик температуры дорожного полотна;

– МПН1 – формирователь питающих напряжений, необходимый для выработки напряжений, питающих микросхемы датчика.

Первичный преобразователь ПП2 (датчик скорости шасси (ДСШ)) монтируется на приводе вальца катка и преобразует частоту вращения в информацию о движении шасси.

Модуль информирования (МИ), расположенный в кабине, включает следующие блоки:

– МК – модуль клавиатуры, предназначенный для управления МИ и ввода поправочных коэффициентов в систему;

– МОК – модуль определения координат шасси;

– МОД – модуль обработки и вывода скорректированных данных с первичных преобразователей;

– МБПД – модуль беспроводной передачи данных, предназначенный для удаленного мониторинга режимов работы технологического оборудования катка;

– УОИ – устройство отображения информации, выполненное в виде дисплея, на котором в зависимости от выбранного режима работы отображается требуемая информация для оператора и сообщения;

– МПН2 – формирователь питающих напряжений, необходим для выработки напряжений, питающих модули МИ.

Применять ЭБСКУО возможно практически на всех видах дорожных вибрационных катков, однако производитель дорожной техники должен предоставить данные о частоте создаваемой вибрации вальцом (20–50 Гц) и согласовать конструкцию первичного преобразователя и способ его установки. Тарировка системы необходима для каждого вида дорожного полотна с использованием стандартных способов измерения плотности инструментальными методами.

При возвратно-поступательном движении катка по одному и тому же участку дорожного полотна по мере уплотнения основы увеличивается плотность, и система индицирует в относительных единицах величину уплотнения. Как только степень уплотнения перестанет существенно давать прирост при очередном проходе катка по участку, оператору дается сообщение о нецелесообразности дальнейшего уплотнения. Остановка уплотнения на данном этапе позволит избежать повреждений конструкций под землей и разрушения вновь созданного покрытия.

#### Литература

1. Казарновский, В. Д. Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог / В. Д. Казарновский. – М., 2002. – 53 с.
2. Инструкция по определению требуемой плотности и контролю за уплотнением земляного полотна автомобильных дорог. – М., 1969.
3. Шестопапов, А. А. Операционный экспресс-контроль качества дорожных покрытий / А. А. Шестопапов // Стройпрофиль. – 2007. – № 7.
4. Радовский, Б. С. Методы и приборы контроля качества строительства дорожных покрытий в США / Б. С. Радовский // Стройка. Дорожная техника. – 2006. – № 1.