УДК 625.7

М. Т. Насковец, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);
А. В. Дорожко, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
Г. С. Корин, ассистент (БГТУ)

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

В статье представлены конструкции датчиков для измерения деформаций и напряжений конструктивных слоев дорожных одежд. Описаны принципы действия устройств и аппаратура для регистрации измерительных величин.

The paper presents the design of sensors to measure deformations of the structural layers of pavement. The principle of the devices and apparatus for recording measured values.

Введение. С ростом грузоподъемности автомобилей повышается их общая масса, осевая нагрузка и габаритные размеры, что существенно влияет на срок службы дорожных одежд. Для определения воздействия автомобилей большой грузоподъемности, имеющих различные типы подвесок и количество осей, необходимы экспериментальные исследования напряженно-деформативного состояния дорожных конструкций.

Проведение исследований связано с использованием совершенной тензометрической аппаратуры и датчиков для регистрации напряжений и деформаций в течение длительного срока.

В период длительного нахождения датчиков в условиях воздействия влаги, знакопеременных температур, химических противогололедных реагентов необходимо обеспечить работоспособность датчиков и соединительных линий. Предлагаемые конструкции датчиков деформаций и напряжений позволяют проводить экспериментальные исследования на опытных участках действующих автомобильных дорог в течение длительного периода времени.

Основная часть. Тензометрические датчики прогиба предназначены для измерения деформаций слоев асфальтобетонного покрытия.

Датчик прогиба, схематически показанный на рис. 1, представляет собой упругий элемент – балочку двутаврового сечения из дюралюминия с пределом текучести $\sigma_т \geq 300$ МПа. По центру балочки имеется отверстие прямоугольной формы длиной 34 мм, на нижнюю плоскость которого наклеена розетка из четырех тензорезисторов, которые соединяются в мостовую схему. Для наклейки тензорезисторов используется клей с термостойкостью не ниже температуры укладываемого асфальтобетона, т. е. 160°С. Для защиты тензорезисторов от замыкания и повреждения при закладке и работе в дорожном покрытии используются две защитные дюралюминиевые крышки. Упругий элемент имеет два отверстия для фиксирования с опорами при помощи стальных стержней. Для снижения жесткости балочки в последней предусмотрены восемь отверстий диаметром 22 мм.

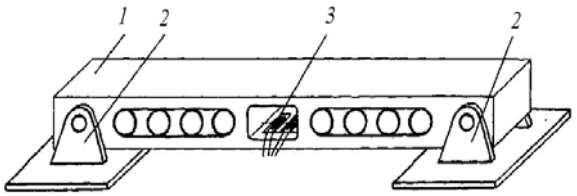

Рис. 1. Общий вид датчика прогиба слоевдорожного покрытия:
1 – упругий элемент; *2* – опоры;
3 – розетка из тензорезисторов

Перед закладкой датчика проводится тарировка путем приложения нагрузки ступенями и измерения деформации. При этом сопротивление тензорезисторов, соединенных в мост Уитстона, показанный на рис. 2, изменяется.

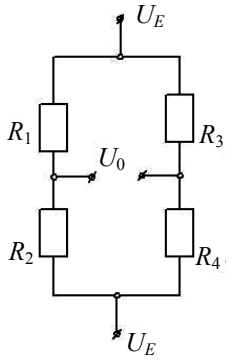

Рис. 2. Схема включения тензорезисторов датчиков ДС

При изгибе верхние и нижние волокна упругого элемента испытывают деформации разных знаков. Сопротивление тензорезисторов R_1 и R_4, наклеенных на верхнюю поверхность упругого элемента, будет увеличиваться, а R_2 и R_3, наклеенных на нижнюю, уменьшаться. Таким образом, реализуется полностью активный тензомост с максимальной чувствительностью и высокой термостабильностью. При этом напряжение на

измерительной диагонали моста будет пропорционально деформации упругого элемента, а значит, и прогибу слоя дорожного покрытия, в котором он установлен. Рабочий коэффициент преобразования датчика ДС вычисляется по формуле

$$K = \frac{U_0}{U_E} = \frac{4}{1} \cdot \frac{k}{4} \varepsilon, \text{ мВ/В}, \qquad (1)$$

где U_0 – выходное напряжения на диагонали моста, мВ; U_E – напряжение питания моста, В; k – коэффициент тензочувствительности тензорезистора; ε – относительная деформация упругого элемента в месте наклейки тензорезистора [1].

Для обеспечения оптимальной величины рабочего коэффициента преобразования K = 2 мВ/В при использовании константановых тензорезисторов с коэффициентом тензочувствительности k = 2,1 относительная деформация ε в месте наклейки тензорезистора должна составлять около 0,001. Величину напряжения σ, МПа в упругом элементе, которое обеспечит требуемую относительную деформацию, рассчитывают на основании закона Гука:

$$\sigma = E\varepsilon, \qquad (2)$$

где E – модуль упругости материала, из которого изготовлен упругий элемент, МПа.

Для дюралюминия получаем

$$\sigma = 0,7 \cdot 10^5 \times 1 \cdot 10^{-3} = 70 \text{ МПа}.$$

Для определения величин напряжений, возникающих по глубине дорожной конструкции при проведении комплекса исследований по изучению воздействия на дорожные одежды транспортных средств с различными типами подвесок, применяются тензорезисторные преобразователи давления типа ПДМ (мостовые) с гидравлическим мультипликатором.

Тензорезисторные преобразователи давления предназначены для измерения статических и динамических давлений в частотном диапазоне от 0 до 500 Гц в грунтах, сыпучих средах и других дисперсных средах. Основные технические характеристики данных датчиков приведены в таблице.

Принцип действия ПДМ основан на изменении омического сопротивления тензорезисторов при их деформации от приложенного к измерительной мембране давления, причем необходимая жесткость преобразователя давления обеспечивается гидравлическим мультипликатором, с помощью которого перемещение приемного элемента по сравнению с прогибом измерительной мембраны уменьшается в 30–100 раз в зависимости от соотношения площади гидравлического мультипликатора к площади измерительной мембраны.

Краткая техническая характеристика тензорезисторных преобразователей давления ПДМ

Показатель	Значение
Диаметр, мм	70
Высота, мм	10
Предел измерения давления, МПа	0,4
Максимально допустимая величина давления, МПа	0,6
Погрешность измерения в среде, %	не более 7–10
Класс точности	1,5
Сопротивление изоляции электрической цепи ПДМ относительно корпуса, мОм	не менее 100
Сопротивление плеча полумоста, Ом	100±10
Разброс сопротивлений плеч полумостов, Ом	не более 0,1
Напряжение питания, В	2 (но не более 4)

Преобразователь давления представляет собой круглый диск (рис. 3), состоящий из корпуса *1* с измерительной мембраной *4* и приемного элемента *3*. Полость между корпусом и приемным элементом заполнена жидкостью *2*, служащей для передачи воспринимаемого приемным элементом давления на измерительную мембрану. Деформация мембраны и связанных с ней тензорезисторов *5*, соединенных в мостовую схему, регистрируется измерительным прибором. Защитные крышки *6* предназначены для защиты от коррозии, а также от проникновения влаги в полость, где расположены тензорезисторы. Кабель *7* служит для подключения преобразователя давления к измерительному прибору.

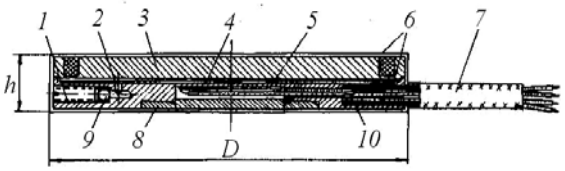

Рис. 3. Схема тензорезисторного преобразователя давления:
1 – корпус; *2* – гидравлический мультипликатор; *3* – приемный элемент; *4* – измерительная мембрана; *5* – тензорезистор; 6 – защитные фольговые крышки; *7* – кабель; *8* – крышка; *9* – шариковый запор; *10* – мундштук

На рис. 4 показан общий вид датчиков прогиба и напряжений.

Комплекс тензометрической регистрирующей аппаратуры включает 8-канальный усилитель «Spider-8», компьютерный комплекс «Catman» и тензометрические электронные подколесные весы.

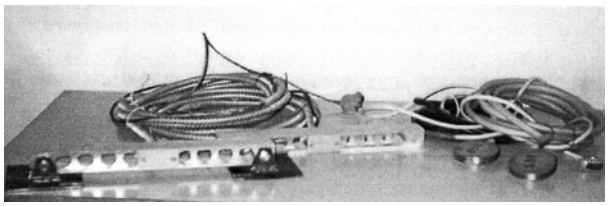

Рис. 4. Общий вид датчиков прогиба
и тензорезисторных преобразователей давления

Регистрирующий мобильный цифровой измерительный усилитель Spider-8 (рис. 5) представляет собой электронную измерительную систему для электрических измерений механических величин.

Рис. 5. Мобильный измерительный
усилитель Spider-8

Все обслуживание сигналов, включающее возбуждение пассивных датчиков, усиление, оцифровку, сопряжение с компьютером и технологию связи для максимум 8 каналов, объединено в одном корпусе. Требуемые установки производятся компьютером с помощью команд. Еще одна отличительная особенность Spider-8 – мобильность. Прибор имеет возможность питания от постоянного тока напряжением 12 В, что позволяет применять его в полевых условиях при наличии автомобильного аккумулятора и ноутбука (рис. 6).

Перед исследованиями проводится тарировка датчиков путем передачи статического давления на рабочую поверхность устройства ПДМ (рис. 7). Тензометрические датчики прогиба тарируются в специальном тарировочном приспособлении (испытательная машина ИР 5046-5). При помощи испытательной машины задается прогиб упругого элемента датчика и измеряется соответствующий выходной сигнал на измерительной диагонали тензомоста.

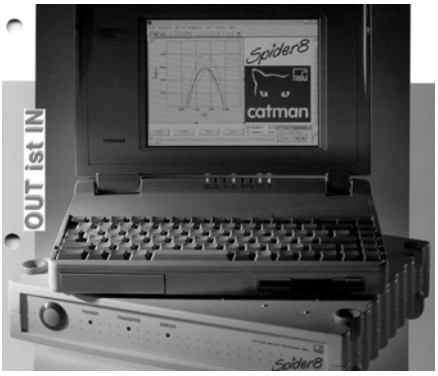

Рис. 6. Мобильный измерительный комплекс

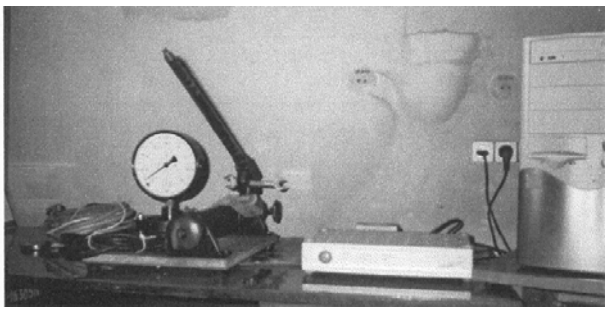

Рис. 7. Процесс тарировки тензометрических
преобразователей давления (мессдоз)

Заключение. 1. Представленные конструкции датчиков деформаций и напряжений позволяют производить экспериментальные измерения деформаций асфальтобетонных покрытий и фиксировать напряжения, возникающие в слоях основания и подстилающего слоя дорожной одежды.

2. Практика использования данных конструкций подтверждает их работоспособность в течение длительного периода при хорошей гидроизоляции непосредственно датчиков и соединительных линий.

Литература

1. Тензометрия в машиностроении / Р. А. Макаров [и др.]; под общ. ред. Р. А. Макарова. – М.: Машиностроение, 1975. – 288 с.

Поступила 14.03.2011