

УДК 006.91: 681.2 + 531.7.08

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

INSTRUMENTAL IMPLEMENTATION OF METROLOGICAL ASSURANCE OF AUTOMOBILE AND RAILROAD BRIDGES MONITORING SYSTEMS

В. Л. Соломахо,

директор Республиканского института инновационных технологий БНТУ, д-р техн. наук, профессор

V. Solomakho

С. С. Соколовский,

доцент кафедры «Стандартизация, метрология и информационные системы» БНТУ, канд. техн. наук, доцент

S. Sokolovsky

В. А. Шапарь,

доцент кафедры «Стандартизация и метрология» БГАТУ, канд. техн. наук

V. Shapar

Д. В. Соломахо,

ИВА СП ЗАО «Международный деловой альянс», Минск, Республика Беларусь

D. Solomakho

Дата поступления в редакцию — 28.10.2015 г.

При эксплуатации сложных технических конструкций неизбежно происходят изменения напряженно-деформированного состояния сооружений, что требует их мониторинга с использованием мультисенсорных измерительных систем с целью снижения рисков при эксплуатации. Метрологическое обеспечение таких систем возможно при создании специального испытательного оборудования. Рассмотрены варианты конструкции испытательного оборудования, применяемого при определении метрологических характеристик индуктивных преобразователей, входящих в состав мультисенсорных измерительных систем.

When using complex technical constructions inevitably changes the stress-strain state of the structures that require monitoring them using multisensor measuring systems in order to reduce the risks of exploitation. Metrological maintenance of such systems is possible with the creation of special test equipment. The variants of the design of the test equipment used in the determination of the metrological characteristics of inductive transducers, members of the multisensor measuring systems.

Наличие в железнодорожных и автомобильных мостах сложных конструктивных элементов, которые находятся в комплексном многопараметрическом взаимодействии как между собой, так и с окружающей средой,

определяет высокие требования к качеству их проектирования и строительства [1–2].

В процессе эксплуатации, даже при нормальных условиях внешней среды, происходит неизбежное изменение напряженно-

деформированного состояния сооружения, из-за дефектов различной природы. Повышенный риск связан, как правило, с относительно малым периодом времени от момента возникновения и развития дефектов до полного разрушения конструкции (то есть с высокими скоростями роста эксплуатационных дефектов). Время до критического разрушения при прочих равных условиях во многом определяется источниками возникновения дефектов и, соответственно, характером проявлений действующих нагрузок (см. таблицу).

Поскольку на техническое состояние строительных конструкций оказывает влияние большое число разнообразных по своей природе факторов, математическое описание которых является весьма сложным, расчетный способ оценки надежности конструкции сопряжен с высокими рисками. Поэтому рациональным способом управления рисками при эксплуатации таких сооружений является постоянный системный мониторинг их технического состояния, в основе которого должен лежать соответствующий контроль параметров, функционально связанных со всеми перечисленными факторами и определяющих работоспособность конструкции.

Контроль и мониторинг состояния различных конструкций и технологических систем в настоящее время базируются на применении мультисенсорных измерительных систем (МСС). Проанализированные в работе [3] особенности МСС позволяют говорить о возможности и целесообразности их использования в автоматических системах непрерывного контроля технического состояния (системах мониторинга) автомобильных и железнодорожных мостов.

Автоматические МСС позволяют:

- получать измерительную информацию в полном объеме и в установленные сроки независимо от сложности доступа к элементам исследуемого объекта в процессе эксплуатации;
- существенно снизить трудоемкость работ за счет полной автоматизации контрольных процедур;
- получать высокую информативность путем многократных измерений контролируемых параметров;
- добиваться высокой достоверности результатов за счет исключения субъективного фактора вследствие автоматизации контроля, применения современных методов и средств

Нагрузки, действующие на строительные конструкции

№ п/п	Источники возникновения	Характер проявления (срок действия)			
		Постоянные	Временные		
			Длительные	Кратковременные	Особые
1.	Вес сооружения, в том числе вес несущих и ограждающих строительных конструкций; вес и давление грунтов	+			
2.	Вес стационарного оборудования, емкостей, трубопроводов с арматурой	+			
3.	Вес жидкостей и сыпучих тел в емкостях и трубопроводах; нагрузки от складированных материалов		+		
4.	Нагрузки, возникающие при движении транспортных средств; ветровые, гололедные и снеговые нагрузки			+	
5.	Сейсмические взрывные воздействия; воздействия, обусловленные деформациями основания, связанные с изменением структуры грунта, усадкой и ползучестью материалов, а также нагрузки, вызываемые резким нарушением технологического процесса			+	+

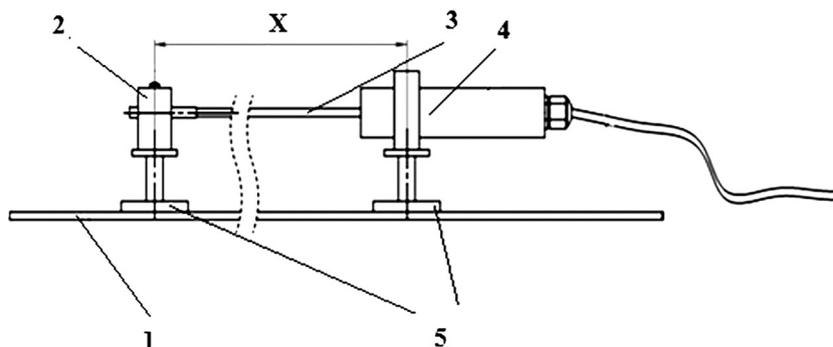


Рис. 1. Схема установки первичного преобразователя на элемент строительной конструкции

измерений, использования оптимизированных алгоритмов обработки информации.

В настоящее время МСС формируются на базе, главным образом, индуктивных, тензометрических или оптических первичных преобразователей (либо датчиков). Так, автоматические МСС, оснащенные индуктивными первичными преобразователями, обладают следующими преимуществами:

- непрерывностью измерений и возможностью регистрации непрерывно изменяющихся величин;
- возможностью проведения дистанционных измерений;
- высокой чувствительностью;
- простотой конструкции.

Достижимая чувствительность по перемещению индуктивных датчиков составляет 0,1 мкм, относительная погрешность измерения перемещения — 0,5 %.

Каждый датчик, входящий в систему строительного мониторинга, устанавливается индивидуально по традиционной для контроля строительных конструкций схеме (рис. 1).

Корпус датчика (4) и его шток (3), зафиксированный во втулке (2), устанавливаются в специальных базировочных устройствах (5), разнесенных на нормируемое расстояние (X) и закрепленных непосредственно на строительной конструкции (1). При деформации конструкции происходит смещение штока индуктивного датчика, которое регистрируется его чувствительным элементом. Существует значительное количество конструкций индуктивных преобразователей, годных к использованию в МСС, одна из которых представлена на рис. 2.

При использовании данного преобразователя измерительный шток (1) перемещается в корпусе (3) на телах качения (шариках) (6),

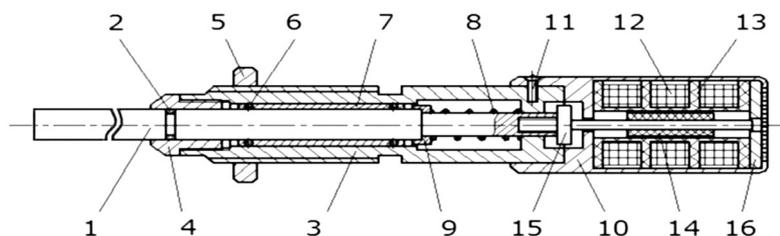


Рис. 2. Конструкция индуктивного датчика

размещенных в сепараторе (7). Втулка (4) в сочетании с уплотнителем (2) защищает внутреннее пространство щупа от попадания пыли, а контргайка (5) фиксирует шток в процессе предварительной настройки. Измерительное усилие создается пружиной (8) и передается на шток через тарелку (9).

К корпусу (3) винтами (11) крепится корпус электромагнитного преобразователя (10), основой которого являются катушки (12), намотанные на каркасе (13), а также ферромагнитный сердечник (14), соединенный с измерительным штоком (1) при помощи стержня (15), выполненного из диамагнитного материала. Каркас (13) и крышка (16) завальцованы в корпусе преобразователя (10).

В рассматриваемой конструкции в качестве преобразователя перемещений в электрический измерительный сигнал использован линейный дифференциальный трансформатор (ЛДТ), который, при относительной простоте конструкции, позволяет получить высокие значения характеристик, таких как линейность, чувствительность, стабильность показаний.

Экспериментальная оценка характеристик датчиков, используемых в МСС, необходима как на стадии проектирования и отработки конструкции и технологии изготовления датчиков для решения задач контроля экс-

плуатационных параметров конкретных строительных объектов, так и на стадии определения метрологических характеристик МСС. Как правило, расчетным путем получить точные значения метрологических характеристик датчиков в ряде случаев весьма проблематично из-за несовершенства методов расчета, обусловленных многочисленностью и сложностью оценки параметров, которые требуют учета. Кроме того, на конечный результат существенное влияние оказывают как свойства используемых материалов и комплектующих (которые могут иметь значительный разброс), так и стабильность технологических факторов. Для осуществления выходного контроля, определения данных для линеаризации и температурной коррекции характеристик датчиков, проведения периодической калибровки или поверки МСС требуется создание специального оборудования.

Установка, которая может использоваться для этих целей, представлена на рис. 3. Она включает оснащенный шариковыми направляющими, предметный стол (3), на котором установлена специальная накладka (5), фиксируемая в определенном положении с помощью зажимного устройства, входящего в ее состав. На верхней, базовой поверхности накладки закреплена несущая стойка (8), служащая для установки корпуса преобразователя (1) на из-

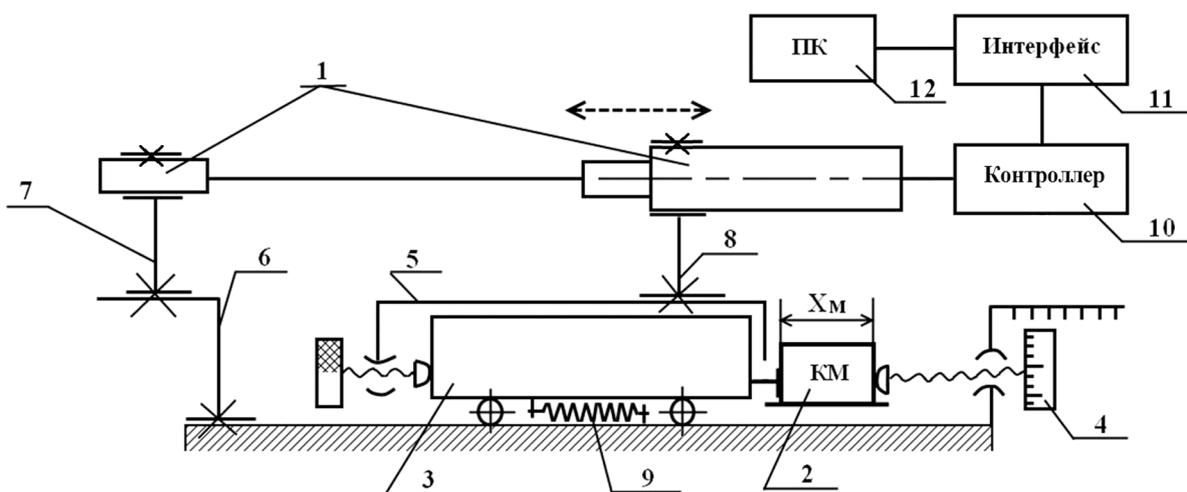


Рис. 3. Испытательное оборудование с горизонтальным расположением индуктивного преобразователя

мерительной позиции. На станине крепится специальный кронштейн (6) с установленной на нем второй несущей стойкой (7), которая предназначена для фиксации измерительного штока преобразователя в его рабочем положении. Такая установка элементов измерительного преобразователя позволяет обеспечить их необходимую относительную подвижность, что соответствует требованиям методики проведения исследований. Следует также отметить, что такая схема крепления измерительного преобразователя и моделирования его функционирования полностью соответствует реальным условиям его использования.

Рабочее перемещение предметного стола осуществляется микровинтом (4), а эталонные перемещения и, следовательно, относительные перемещения подвижных элементов измерительного преобразователя (измерительного штока и корпуса преобразователя) осуществляются с использованием плоскопараллельных концевых мер длины (2) соответствующей точности. Пружина (9) служит для создания рабочего усилия (силового замыкания предметного стола и блока концевых мер). Индуктивный преобразователь (1) подключен к входу контроллера (10) предварительной обработки измерительных сигналов. Выход контроллера (10) через интерфейс (11) соединен с сервером (12), предназначенным для регистрации, анализа измерительной информации и представления ее для дальнейшего использования.

В качестве альтернативного варианта испытательного оборудования может быть использована установка, реализуемая на базе стандартной измерительной стойки С-1 при оснащении ее дополнительным кронштейном на плоскопружинном параллелограмме (рис. 4).

Эта схема отличается от предыдущей вертикальным расположением исследуемого измерительного преобразователя и креплением измерительного штока и корпуса (1). Для этих целей установка оснащена специальными переходными втулками для базирования измерительного штока и корпуса преобразователя в посадочные отверстия стандартных кронштейнов, входящих в состав используемой стойки. Нижняя переходная втулка (7) при этом имеет жесткий упор (наконечник) сфе-

рической формы, под которым на рабочем столе (3) устанавливаются плоскопараллельные концевые меры требуемой длины (2). В отличие от предыдущего случая, в данном варианте экспериментальной измерительной установки точное (прецизионное) перемещение измерительного штока относительно корпуса преобразователя (воспроизведение эталонного относительного перемещения подвижных элементов измерительного преобразователя) реализуется на базе безззорных направляющих на плоских пружинах (5, 6), входящих в состав стандартных кронштейнов измерительных стоек (4) рассматриваемого типа. Это обстоятельство дает основание утверждать, что второй вариант установки позволяет обеспечить более высокую по сравнению с первым вариантом

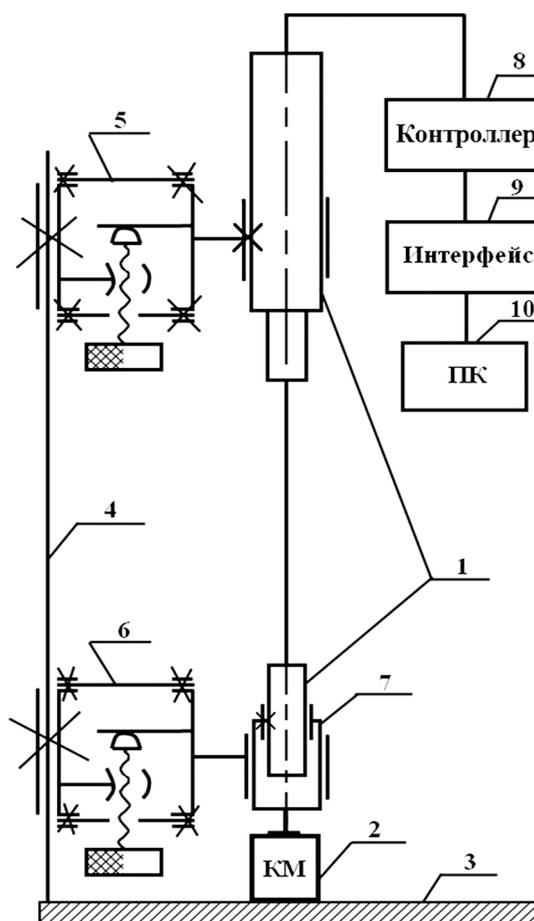


Рис. 4. Испытательное оборудование с вертикальным расположением индуктивного преобразователя

точность относительного перемещения подвижных элементов исследуемого измерительного преобразователя.

К недостаткам данного варианта следует отнести большое измерительное усилие в зоне контакта жесткого упора (наконечника) нижней переходной втулки (7) с рабочей поверхностью концевой меры длины.

По условиям использования экспериментальной измерительной установки, реализуемой по второму варианту, для установки на измерительную позицию концевой меры длины (блока мер) требуемого размера необходимо произвести соответствующее арретирование жесткого упора (наконечника) втулки (7), переместив его в крайнее верхнее положение с помощью микровинта кронштейна (6). После установки требуемой меры (блока мер) упор (наконечник) перемещают в обратном направлении, пока он не упрется в рабочую поверхность меры (полностью не ляжет на нее). Для обеспечения выполнения этого условия микровинт выворачивают до тех пор, пока не образуется зазор между торцевой поверхностью микровинта и опорной пяткой соответствующей подвижной части кронштейна. Очевидно, что создаваемое при этом измерительное усилие практически будет равно силе тяжести всей подвижной части кронштейна (6) с добавлением силы упругости плоских пружин параллелограммной подвески.

Рассмотренные установки обеспечивают решение двух ключевых задач, решаемых в ходе метрологической аттестации индуктивных преобразователей, входящих в МСС:

– обеспечение точного (прецизионного) перемещения измерительного штока относи-

тельно корпуса преобразователя (воспроизведение эталонного относительного перемещения подвижных элементов измерительного преобразователя);

– обеспечение точного (эталонного) измерения относительного перемещения подвижных элементов измерительного преобразователя с использованием некоторого средства линейных измерений, выступающего в качестве рабочего эталона соответствующей точности (соответствующего разряда согласно его поверочной схеме).

Рассмотренный комплект экспериментального оборудования позволяет исследовать нормируемые метрологические характеристики индуктивных первичных преобразователей и, тем самым, создать необходимые условия для метрологического обеспечения мультисенсорных систем мониторинга сложных строительных конструкций.

Литература:

1. Дорофеев, В. М. Автоматизированная станция мониторинга технического состояния несущих конструкций высотных зданий / В. М. Дорофеев, В. Г. Катренко, Н. В. Назьмов // Уникальные и специальные технологии в строительстве: Сборник материалов. — М.: ЦНТСМО, 2005. — С. 66-67.
2. Соломахо, В. Л. Применение систем строительного мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации зданий / В. Л. Соломахо, Д. В. Соломахо, А. С. Волчок // Вестник БНТУ. — 2010. — № 4. — С. 5-7.
3. Соломахо, В. Л. Нормирование точности средств измерений, входящих в состав мультисенсорных измерительных систем / В. Л. Соломахо, Д. В. Соломахо // XV МНПК «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика»: Сборник материалов. — Киев: АТМ Украины, 2015. — С. 150.