

## **ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

**Полуянович А. А., Тарабанова Ю.А.**

(ООО «Прикладные решения», ООО «Сенсотроника», г. Минск)

**Аннотация.** В статье рассматривается комплексное инженерное решение, позволяющее решать задачи по испытанию строительных конструкций в полевых условиях, на примере разработанного программно-аппаратного измерительного комплекса. Описана конструкция, опыт применения и потенциальные возможности использования в строительном производстве.

Мониторинг сложнапряженных конструкций остается одной из современных проблем эксплуатации зданий и сооружений. Однако вопросы мониторинга нельзя рассматривать в отрыве от таких предшествующих строительству и эксплуатации этапов, как проведение испытаний напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных конструкций в полевых и лабораторных условиях.

Существуют различные виды испытаний напряженно-деформированного состояния сталежелезобетонных конструкций:

- испытания опытных конструкций перед внедрением в массовое производство;
- испытания периодически отбираемых образцов из изготовленной партии изделий;
- испытания конструкций на сооружениях, которые уже введены в эксплуатацию и другие.

Для того чтобы определить величину прогиба, момент появления и ширину раскрытия трещин, в качестве измерительных средств используют тензометры и стрелочные индикаторы. Работа с этими устройствами имеет ряд недостатков: они требовательны к внешним условиям эксплуатации, не имеют защиты от пыли, влаги и вибрации, у них низкий температурный диапазон, короткий срок эксплуатации. Однако одним из самых существенных недостатков применения указанных устройств, является необходимость записи показаний вручную человеком. Такая методика не дает оперативности и не позволяет более детально изучить характер напряженно-деформированного состояния конструкций на всех стадиях нагружения, включая стадию разрушения. Также остаются актуальными и проблемы безопасности людей проводящих испытания, которые можно успешно решить внедрением автоматизированных измерительных комплексов.

На базе белорусских предприятий ООО «Прикладные решения» и резидента Парка высоких технологий ООО "Сенсотроника", в тесном взаимодействии с научными учреждениями республики БНТУ и БелдорНИИ, ведутся разработки современных средств измерений (датчиков) и программно-

аппаратных измерительных комплексов для автоматизации удаленного мониторинга объектов, сопровождения надвижек пролетных строений мостовых сооружений, проведения испытаний и т.д.

В 2015 году был создан и опробован мобильный измерительный программно-аппаратный комплекс, предназначенный, в первую очередь, для проведения испытаний в полевых условиях и сопровождения этапов строительства, реконструкции сложных объектов (рисунок 1).

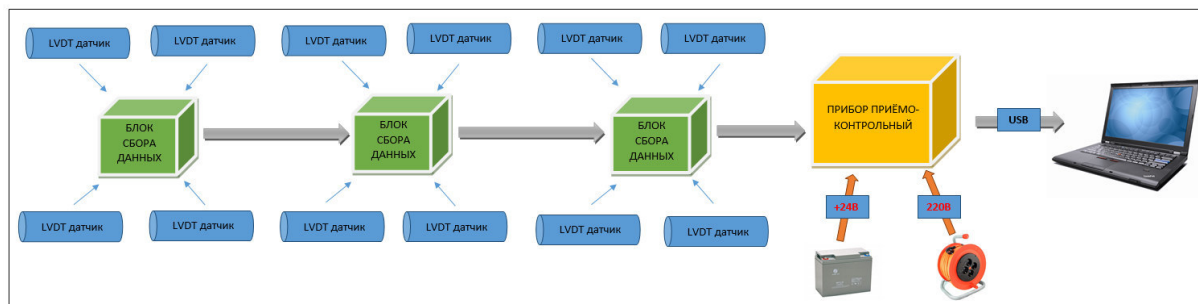


Рисунок 1 – Структурная схема мобильного измерительного комплекса

В качестве измерительного средства в комплексе используются разработанные и полностью изготавливаемые в Беларуси LVDT датчики со свободным штоком ПЛП-2 (рисунок 2) и датчики с направленным штоком ПЛП-2-П, преобразующие линейные механические перемещения в цифровой сигнал (рисунок 3).

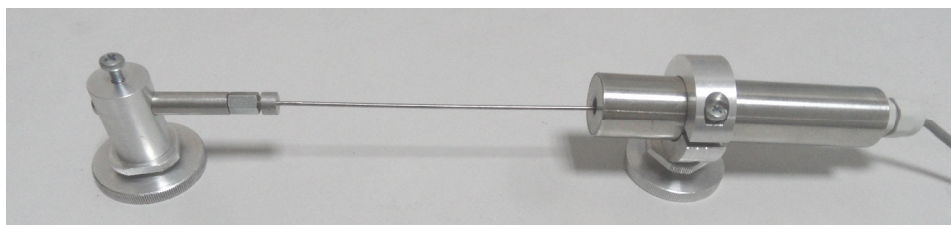


Рисунок 2 – LVDT датчик со свободным штоком ПЛП-2-П



Рисунок 3 – LVDT датчик с направленным штоком ПЛП-2-П

Как видно из рисунка 1, индуктивные датчики подключаются к блокам сбора данных, которые, в свою очередь, последовательно соединяются между собой. Последний блок сбора данных подключается к приемно-контрольному прибору, который обрабатывает данные со всех датчиков подключенных к системе, управляет электропитанием и следит за общим состоя-

нием узлов. Принятые данные, в режиме реального времени передаются на портативный компьютер с установленным специализированным программным обеспечением предназначенным для автоматизированного сбора, хранения и анализа параметров, полученных от измерительного комплекса.

Осенью 2015 года на строительном полигоне в г. Фаниполь, в сотрудничестве со специалистами ГП "БелДорНИИ", были проведены испытания с поэтапным нагружением балки до ее разрушения (рисунок 4).



Рисунок 4 – Испытания железобетонной балки на строительном полигоне, г. Фаниполь

LVDT датчики ПЛП-2 были установлены в пяти точках с базой 500 мм. Крепления устанавливались клеевым соединением для обеспечения экономии времени, в результате чего монтаж, демонтаж, проведение испытаний балки до ее разрушения и дополнительные мероприятия по сверке дублированных показаний заняли не более 3х часов.

Каждый датчик, для сверки показаний, дублировался индикатором часового типа (рисунок 5).



Рисунок 5 – Установленные измерительные средства на испытываемой балке

Испытания проводились в 12 этапов. В ходе проведения испытаний мобильной системы были выявлены следующие преимущества:

- высокая точность измерений, подтвержденная сверкой показаний с индикаторами часового типа;
- скорость и удобство монтажа/демонтажа на объекте испытаний;
- возможность проводить испытания конструкций до полного их разрушения без риска для жизни и здоровья людей, за счет возможности получения и обработки данных на безопасном расстоянии;
- отображение текущих значений микроперемещений на экране портативного компьютера с частотой 1Гц;
- запись показаний в режиме реального времени;
- анализ показаний на каждом этапе испытаний;
- автоматизированное сохранение данных в таблицу.

Демонстрируя преимущества описываемого комплекса в целом, нельзя не остановиться более подробно непосредственно на самом измерительном средстве, главной составляющей части комплекса - LVDT датчиках. Указанные датчики имеют ряд очевидных преимуществ обусловленных как самим принципом их действия, так и конструктивными особенностями:

- высокая чувствительность 0, 001 мм в диапазоне линейных перемещений  $\pm 1$  мм;
- встроенная электроника, дающая возможность измерять данные с частотой 10Гц и передавать их по одному из стандартных протоколов (Modbus либо текстовые строки) со скоростью 9600 бит/с;
- практически неограниченная механическая износостойкость, что является следствием отсутствия трущихся частей. Из-за отсутствия трения и механических контактов между сердечником и катушками нет факторов, оказывающих отрицательное влияние на механическую износостойкость.
- повышенная защита от выбега за пределы трансформатора. Внутреннее отверстие LVDT-датчиков открыто, поэтому в случае «зашкаливания» (перемещения контролируемого объекта и жестко связанного с ним ядра за предусмотренные пределы) не происходит механического повреждения датчика;
- устойчивость к воздействию внешней среды. В конструкции датчиков используются антикоррозионные, износоустойчивые и прочные материалы, что делает датчики маловосприимчивыми к негативным воздействиям внешней среды, они хорошо противостоят одиночным ударам и вибрациям. Внутренний экран минимизирует влияние внешних электромагнитных полей. Датчики работают в широком диапазоне рабочих температур;
- универсальное крепление дает возможность установки преобразователя на любые поверхности любых материалов: бетон, сталь и прочие.

В 1 квартале 2016, начато использование указанного программно-аппаратного измерительного комплекса для контроля мостовой конструкции через р. Днепр в городе Могилев во время проведения ремонтных работ (рисунк 6).





Рисунок 6 – Испытания опоры моста во время проведения ремонтных работ, г. Могилев.

В настоящее время проведены испытания опоры выше указанного моста во время нагружения, а в качестве измерительного средства было решено использовать LVDT-датчик с направленным штоком ПЛП-2-П, с базой 200 мм. Установка датчиков осуществлялась на приварные шпильки, что позволяет осуществлять периодические выезды специалистов для мониторинга опоры с повторной установкой датчиков в расчетных точках (рисунок 7).



Рисунок 7 – Датчики ПЛП-2-П установленные на приварные шпильки

Разработанный комплекс продемонстрировал потенциальную возможность использования его без сопровождающего оператора-консультанта от компании разработчика. По согласованному со строителями и специалистами БелдорНИИ плану, контроль конструкции будет осуществляться в течение 6-ти месяцев на протяжении ремонтных работ, в процессе которых запланиро-

ван демонтаж датчиков и установка на другие точки опоры. Необходимо отметить, что контролируемые точки находятся на большой высоте, в неудобно расположенных местах, что привело бы, при использовании тензодатчиков или датчиков часового типа к ряду неудобств съема данных и привлечения большого количества персонала. После установки ППП-2-П и запуска измерительного комплекса оператор во время испытаний находился на безопасном расстоянии от мест установки датчиков. Программное обеспечение позволило в режиме реального времени следить за ходом испытаний, построить график деформации и сохранить полученные данные для более тщательного анализа после проведенных испытаний в офисных условиях.

**Выводы.** 1. Таким образом, проведенные испытания разработанного мобильного измерительного программно-аппаратного комплекса, при различных типах испытаний показали, что он имеет высокие потенциальные возможности применения в проведении испытаний напряженно-деформированных конструкций и сооружений. 2. Практика применения LVDT датчиков в автоматизированных системах мониторинга строительных конструкций, подтверждает правильность тенденции перехода на более современные средства измерений, основанные на принципе преобразования механических линейных микроперемещений в электрический сигнал и внедрение комплексных автоматизированных систем.

**Литература.** 1. Минченя Т.П., К исследованию строительных конструкций в построечных условиях с применением датчиков дистанционного контроля. Баранчик В.Г., Минченя В.Т., Асимов Р.М. // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь. Сборник трудов XV Международного научно-методического семинара. 21-28 ноября 2008 г. Том.1. Новополоцк. ПГУ. 2008.- С.166-168.