РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 624.014 (07), К591

Губайдулин Рафкат Галимович
Профессор кафедры строительных конструкций и инженерных сооружений Южно-Уральского государственного университета, г.Челябинск, доктор технических наук

Губайдулин Марат Рафкатович
Директор ООО «Проектно экспертная организация ТЕПЛОСТРОЙ», г.Челябинск, кандидат технических наук

Рыбин Владимир Александрович
Инженер-обследователь Южно-Уральского государственного университета, г.Челябинск

В настоящее время все большее применение в строительстве получают тонкостенные холодногнутые оцинкованные профили. Их применение увеличивается в производстве несущих и ограждающих конструкций, отделочных работах и т.д. Поскольку в существующих нормах проектирования нет четкой методики расчета подобных конструкций, то единственным достоверным методом определения их несущей способности и предотвращения аварийных ситуаций на опасных производственных объектах являются натурные испытания моделей или полномасштабных конструкций. Анализ результатов подобных испытаний поможет создать методику расчета тонкостенных конструкций и повысить качество их проектирования в целом.

В 2007 году на базе испытательной лаборатории кафедры «Строительных конструкций и инженерных сооружений» ЮУрГУ при участии специалистов ООО «ПЭО Теплострой» были проведены натурные испытания конструкции из двух стропильных ферм пролетом 18 м с шагом 3 м, изготовленных из холодногнутых тонкостенных оцинкованных профилей. Испытываемая конструкция представляла собой две смежных двускатных стропильных фермы, объединенных прогонами, связями по нижнему поясу и вертикальными связями в пространственный блок высотой 750 мм на опорах и 3150 мм (рис.1) в середине пролета.

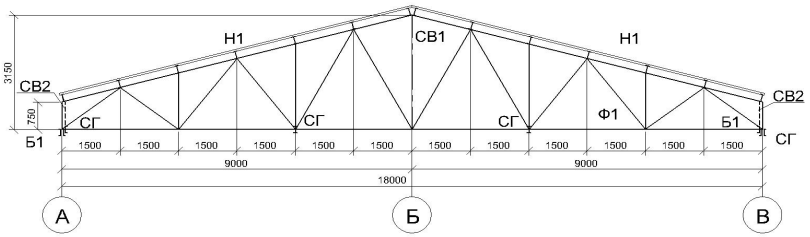


Рис.1 Конструкция фермы

Целью испытаний было определение напряженно-деформированного состояния элементов ферм, выявление самых нагруженных элементов, определение местных напряжений в этих элементах, определение общей устойчивости блока ферм и предельной нагрузки, а также разработка современной системы мониторинга строительных конструкций на базе новых типов электронных датчиков.

При испытаниях использовались различные контрольно-измерительные приборы и оборудование, с помощью которых определялись местные напряжения, прогибы, контролировалась прикладываемая нагрузка, просадка опор, выход из плоскости фермы характерных участков, при приложении нагрузки. Были впервые опробованы для подобных испытаний электронные датчики перемещения, индукционные датчики и новая тензометричекая система «ТЕРЕМ-4».

Для определения напряжений, возникающих в элементах ферм, использовались тензометрические датчики трех типов: бумажные с базой 20 мм, фольговые с базой 5 мм, фольговые с базой 10 мм. Схемы расклейки датчиков были разработаны таким образом, что показания датчиков различных типов дублировались на симметричных элементах конструкции, это помогло при обработке результатов и определении итоговых значений. Общее число датчиков 360 шт. Для опроса датчиков и записи показаний использовались два типа тензометрических систем: система «СИИТ-3» и система «Терем-4». Система «СИИТ-3» (рис.2) состоит из блока измерения (БИ), блока переключения (БДРП), цифропечатающего устройства. Она обрабатывает и выводит полученные данные на бумажный носитель. Преимуществом данной системы является то, что она сертифицирована по ГОСТ, давно используется и хорошо зарекомендовала себя. Система «ТЕРЕМ-4» (рис.3) представляет собой универсальный многоканальный регистратор, с возможностью получения данных в цифровой форме от различных типов датчиков.

Рис.2. Система СИИТ-3

Рис.3. Система «ТЕРЕМ-4»

Преимуществом системы «ТЕРЕМ-4» является её универсальность, возможность опроса различных типов датчиков, а также возможность адаптировать под неё в короткий срок большинство электронных датчиков. На данных испытаниях система «ТЕРЕМ-4» использовалась как дублирующая.

Измерение перемещений производилось электронными и механическими датчиками, а также дублировались электронным тахеометром. Для измерения вертикальных перемещений характерных узлов ферм использовались механические прогибомеры на базе индикаторов часового типа с ц.д. 0,01 мм. Общее число прогибомеров 18 шт., они были установлены в характерных узлах конструкции. Показания прогибомеров дублировались электронными датчиками *Gefran PC-M-200* с базой 300 мм (рис.4). Горизонтальные перемещения из плоскости ферм измерялись механическими прогибомерами Аистова с ц.д. 0,01 мм и дублировались электронными датчиками ДПЛ-20, а также индукционными датчиками перемещения. Датчики ДПЛ-20 (рис.5) имеют рабочий диапазон 20 мм, индукционные датчики использовались двух видов: с рабочим диапазоном 5 и 7,5 мм (рис.6).

Показания всех электронных датчиков собирались и сохранялись на ПК с помощью системы «ТЕРЕМ-4», все электронные датчики были продублированы механическими, установленными в тех же узлах. По результатам полученных данных был составлен сравнительный график механических и электронных прогибомеров и тахеометра (рис.7).

Рис.4. Датчики Gefran PC-M-200

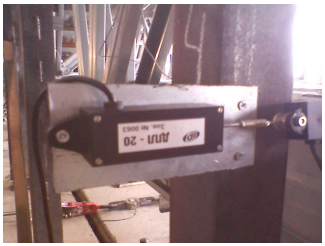


Рис.5. Датчики ДПЛ-20

Рис.6. Индукционные датчики

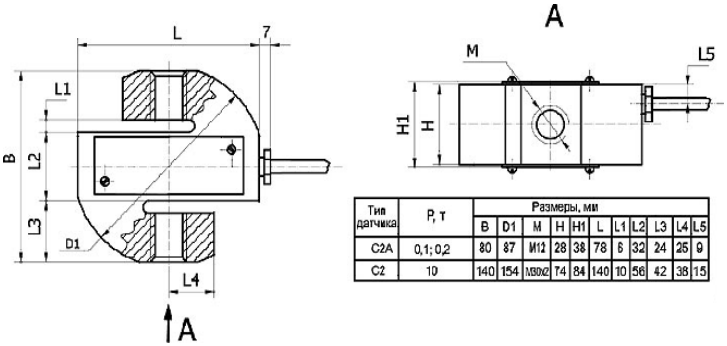
Рис.7. Сравнительный график механических и электронных датчиков и тахеометра

Анализ данных полученных от электронных и механических датчиков показал, что полученные результаты отличаются не более чем на 5%, это является допустимым для подобных испытаний.

Для данных испытаний была разработана оригинальная система нагружения, которая включала в себя приборы контроля прикладываемой нагрузки. Основными контрольными приборами являлись пружинные динамометры ДПУ-100 (рис.8), которые прошли предварительную тарировку перед испытаниями, дублирующими приборами служили электронные S-образные тензометрические датчики (рис.9) двух типов: с пределом измерений до 10 тонн и до 1 тонны.

Рис.8. Динамометр ДПУ-100

В ходе испытаний S-образные датчики показали большую точность и надежность по сравнению с динамометрами, и впоследствии было принято решение контролировать нагрузку по ним, а динамометры использовать как дублирующие.



Тип датчика	P, т	Размеры, мм									
		B	D1	M	H	H1	L	L1	L2	L3	L4	L5
C2A	0,1; 0,2	80	87	M12	28	38	78	6	32	24	25	9
C2	10	140	154	M30x2	74	84	140	10	56	42	38	15

Рис.9. S-образные электронные датчики

Параллельно измерениям в ходе испытаний проводилась тахеометрическая съемка контролируемых узлов конструкции электронным тахеометром *Trimble M3* (рис.10). Прогибы и отклонения, полученные при тахеометрической съемке, переносились в графический редактор и обрабатывались (рис.11); а затем сравнивались со значениями, полученными от электронных датчиков и механических прогибомеров.

Рис.10. Точки контролируемые тахеометром

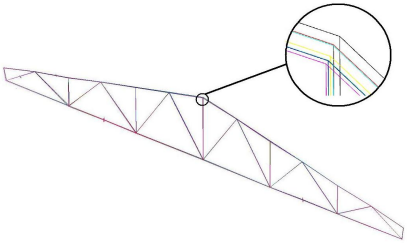


Рис.11. Пространственная модель на основе тахеометрической съемки

Таким образом, в ходе испытаний все показания датчиков одного типа дублировались показаниями датчиков другого типа или тахеометра. После проведения испытаний были составлены сводные таблицы сравнения показаний различных типов датчиков и тахеометра.

После анализа всей полученной на испытаниях информации был сделан вывод, что использование электронных датчиков, интегрированных в общую контрольно-измерительную систему «ТЕРЕМ-4», является обоснованным, поскольку полученные данные имеют достаточную сходимость с механическими приборами и тахеометрической съемкой, а также более высокий предел измерений.

В ходе проведения эксперимента были опробованы различные типы электронных датчиков, интегрированных в общую контрольно-измерительную систему «ТЕРЕМ-4». В ходе эксперимента данная система работала исправно и выдавала достоверные показания. Таким образом, была экспериментально опробована современная измерительная система, на базе которой в настоящее время можно создавать системы мониторинга строительных конструкций и отслеживать их состояние в реальном времени, а также наблюдать за динамикой изменения напряжений в элементах этих конструкций и прогнозировать наступление предельных состояний.