

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТОПОЛОГИЧЕСКОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Р.Д. Джанузакова

Приведены результаты экспериментальных исследований атопологического способа измерения напряжений в элементах металлических конструкций.

Ключевые слова: метод; исследования; деформативность; напряжения; тензорезистор.

Основной метод исследования прочности, деформативности, надежности конструкций и материалов – тензометрирование. Из известных методов и средств тензометрии перечисленным требованиям в наибольшей степени отвечает метод резистивной тензометрии, использующий в качестве первичных средств тензопреобразователи активного сопротивления или тензорезисторы [1].

В настоящее время известно множество способов и методов использования тензорезисторов для измерения напряжений в конструкциях и материалах. Одним из них является атопологический

способ измерения напряжений [2]. Этот способ отличается от других тем, что позволяет расширить область применения тензорезисторов для измерения деформаций и напряжений в нагруженных элементах изделий.

Атопологический способ измерения напряжений в нагруженных элементах изделий, например, нагруженной металлической балки, производится следующим образом. Во-первых, снимают показания индикаторных приборов еще не заклеенного тонкого листа из электронепроводящих материалов с наклеенными заранее тензорезисторами.

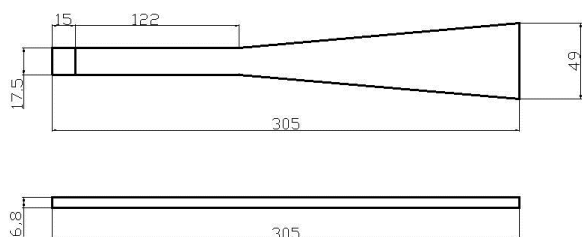


Рисунок 1 – Стальная балка равного сопротивления

Затем на поверхность испытуемой нагруженной металлической балки наклеивают этот тонкий лист из электронепроводящих материалов с заранее наклеенными тензорезисторами. В результате атопологического воздействия в тензорезисторах изменяются омические сопротивления, которые фиксируются индикаторным прибором.

По разности показаний индикаторных приборов определяют величину напряжения в нагруженной металлической балке до и после наклейки тонкого листа. Затем с помощью закона Гука определяют напряжение в нагруженной металлической балке.

Для исследования атопологического способа измерения напряжений в нагруженных элементах гидротехнических сооружений был проведен эксперимент, для чего была выбрана стальная балка равного сопротивления (рисунок 1).

Статические испытания образца производились с помощью экспериментальной механической установки, на которой выполнялся изгиб балки нагружением грузами (рисунок 2). Установка состоит из: станины, жесткозаземленной опоры, консольной балки равного сопротивления, предназначенной для испытания. Для испытательных нагрузок были приняты весовые гири (рисунок 2).



Рисунок 2 – Экспериментальная механическая установка

В эксперименте использовался проволочный тензорезистор общего назначения с многоэлементной петлевой решеткой на бумажной основе – ППКП-20-203. Параметры датчиков: база – 20 мм; $R = 201,7 \pm 0,3$ Ом; $S = 2,04$; $V = 1,11$; $G_i = 0,13$; $TKC = 2,79$.

Регистрация данных в ходе испытаний и обработка полученной информации осуществлялись с помощью программно-аппаратного комплекса “ЭРА-ПРИС”, созданного специалистами РГП КазНИИССА (г. Алматы) на базе системы “ПРИС-1000”, разработанной и сертифицированной НТЦ “Техническая диагностика и прецизионные измерения” (г. Москва, сертификат RU.E.34.010.A № 17408/1). Общий вид программно-аппаратного комплекса “ЭРА-ПРИС” в процессе работы показан на рисунке 3.

В аппаратную часть комплекса входят: блок ввода аналоговых сигналов, включая прецизионные источники питания, в том числе для тензометрических датчиков; системный блок аналого-цифрового преобразования на основе дельта-сигма АЦП и мобильного вычислительного устройства со встроенным жидкокристаллическим монитором 15,4 дюйма и клавиатурой. Основные технические данные и характеристики системы показаны в таблице 1.

Система позволяет регистрировать сигналы от датчиков различных типов одними и теми же каналами АЦП. В частности, она может работать с прецизионными акселерометрами, мостовыми или полумостовыми схемами из тензодатчиков сопротивлением 50 Ом и более, а также с терморезисторами, пьезодатчиками, потенциометрическими, индуктивными, емкостными и другими типами датчиков без использования вторичных преобразователей при измерении постоянных и изменяющихся во времени сигналов. Поскольку



Рисунок 3 – Программно-аппаратный комплекс “ЭРА-ПРИС”

Таблица 1 – Технические данные и характеристики системы

| Параметры | Величина |
|--|-----------|
| Количество измерительных каналов | 64 |
| Динамический диапазон измерительного тракта, дБ | 90 |
| Частота дискретизации на канал, кГц | До 48 |
| Точность измерений виброускорений, % от диапазона | $\pm 0,5$ |
| Точность измерений относительных удлинений, % от диапазона | $\pm 0,1$ |
| Удаленность устанавливаемых датчиков измерения от мобильного компьютера, м | До 100 |
| Рабочий диапазон температур, град. С | 5...30 |

регистрирующая аппаратура могла уловить малые величины напряжений в этой конструкции при их измерении, для исключения дрейфов от разных явлений, как-то: прогрева каналов замера, шумов, температурных перепадов, изменения напряжений в электропередаче, подключения кондиционера, открывание окон и дверей, ходьбы при измерении, воздухообмена, радиоволн было принято измерять напряжения в балке двумя каналами: опорным и рабочим (подключение двух тензорезисторов).

Для регистрации омического сопротивления тензорезистора при его питании переменным или постоянным током применяли схему моста Уитстона при измерении деформации изгиба. Для этого тензорезисторы размещали на наиболее удаленных от оси волокон материала и включали в смежные плечи тензомоста так, чтобы приращения их складывались, а растяжения и сжатия взаимно уничтожались.

Особенность эксперимента заключалась в том, что тензорезистор (1) клеился на обычную машинописную бумагу равного размера, и сушался по стандартам наклейки (12 часов). Далее тензорезистор подключался к регистрирующей аппаратуре

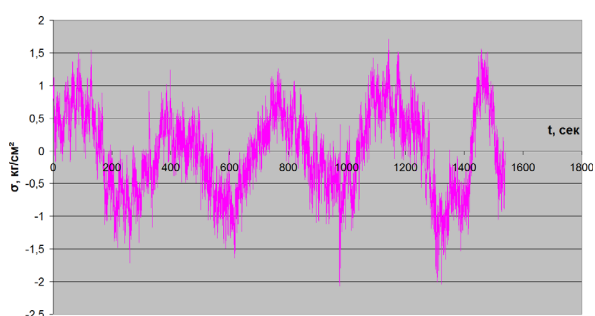


Рисунок 4 – График изменения напряжений, записанный тензорезистором (1)

с помощью монтажных проволок, и начиналось измерение. Измерительный процесс длился 25 минут. График изменения напряжений этого измерения показаны на рисунке 4.

Далее на экспериментальную балку равного сопротивления размерами $305 \times 49 \times 17,5$ $t=6,8$ мм клеилась машинописная бумага, на которой был наклеен тензорезистор (1) от предыдущего измерения (назовем его условно тензорезистор (2)). Клей тензорезистора осушался по всем стандартам наклейки. Спустя 12 часов после наклейки к тензорезистору подключалась регистрирующая аппаратура, и начиналось измерение. В эксперименте загружали балку, навешивая на неё по 1 кг весовых гирь (общий вес 7 кг – по теоретическим расчетам, примерно $\sigma=570 \dots 590$ $\text{кг}/\text{см}^2$), разгрузка балки осуществлялось тоже по 1 кг весовых гирь.

Измерительный процесс длился так же, как и в первом измерении, 25 минут. По плану эксперимента начали загружать балку, навешивая на неё по 1 кг весовых гирь. Шаг загрузки балки наблюдали по стабилизации напряжения на графике, строящегося на экране измерительной аппаратуры. Убедившись, что напряжение на графике в какой-то мере стабилизировалось, навешивали следующую весовую гирю. После навески 7 кг весовых гирь около 5 минут наблюдали за стабилизацией показаний напряжения на графике. Затем начали разгружать балку, снимая с неё по 1 кг весовых гирь. График изменения напряжений, записанный тензорезистором (2), показан на рисунке 5.

На графике рисунка 4 видно, что показания тензорезистора (1), наклеенного на обычную машинописную бумагу, изменяются по определенной амплитуде и варьируют в пределах $\sigma \approx \pm 2$ $\text{кг}/\text{см}^2$. Это изменение связано с улавливанием дрейфов на измерительном канале.

Что касается второго измерения, здесь показания тензорезистора (2) при загрузке балки показывает растяжение (рисунок 5), и падает к миниму-

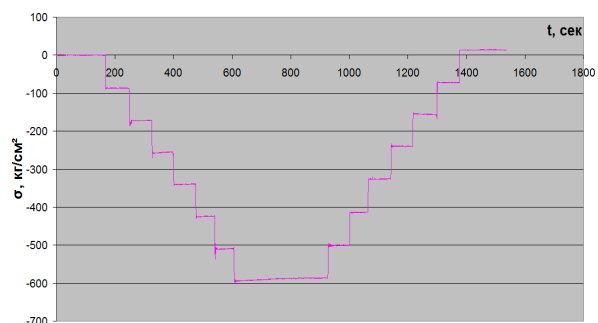


Рисунок 5 – График изменения напряжений, записанный тензорезистором (2)

совым отметкам ($\sigma_{\max} \approx -600$ кг/см²), а при разгрузке тензорезистор (2) показывает сжатие и стремится к нулю. Эти результаты показали, что тензорезистор, наклеенный на бумагу, из-за атопологического воздействия воспринимает изменения напряжений (растяжение, сжатие) в экспериментальной балке. Для получения более ясной картины мы использовали нагружение весовыми гирями.

Результаты эксперимента показали, что можно измерять напряжения в нагруженных элементах изделий, когда невозможно найти незагруженный эталонный образец изделия. Метод может быть использован при измерении механических напряжений в элементах изделий, применяемых

в строительной, в частности гидростроительной индустрии, машиностроительной и других отраслях промышленности.

Литература

1. *Бондарович Л.А.* Тензорезисторный метод в испытаниях инженерных конструкций / Л.А. Бондарович, Л.Н. Шувалов, Л.Х. Сафина // Промышленное и гражданское строительство. 2008. № 6. С. 25–34.
2. Инновационный патент РК № 23575. Атопологический способ измерения напряжений в элементах изделий / Б.А. Алимбаев, Б.Ж. Манапбаев, Р.Д. Джанузакова; опубл. 15.12.2010. Бюл. № 12.