

Анализ и визуализация данных тензометрии в ходе проведения статических испытаний на прочность

Д.В. Курулюк

Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского

Целью настоящей работы было создание удобного и наглядного способа визуализации, при котором специалист, ведущий статические испытания самолета, смог бы быстро получить и оценить интересующие его данные, а также сориентироваться в картине эксперимента в целом. Для этого был создан «Модуль визуализации тензометрии», ниже как Модуль.

Основной концепцией Модуля является отображение данных тензометрии не только в табличной форме, но и на схемах расположения датчиков, которые для каждого конкретного изделия подготавливаются заранее в среде AutoCad и переводятся в графический формат. Как правило, подготовка подобных схем является частью рабочего процесса при расклейке тензорезисторов на изделия. Таким образом, обеспечивается наглядность выводимой информации, а также группировка по местоположению датчиков на испытываемой конструкции.

На рисунке 1 представлен интерфейс Модуля. В центральной части находится окно просмотра текущей открытой схемы изделия с нанесенными на нее данными тензометрии, соответствующими последнему выполненному отсчету. Слева от окна просмотра располагается окно «Выбор схемы». В нем приводится таблица со списком всех схем изделия, доступных для просмотра. В левой нижней части основного окна находится окно «Нагрузка» с отображением текущего процента нагружения.

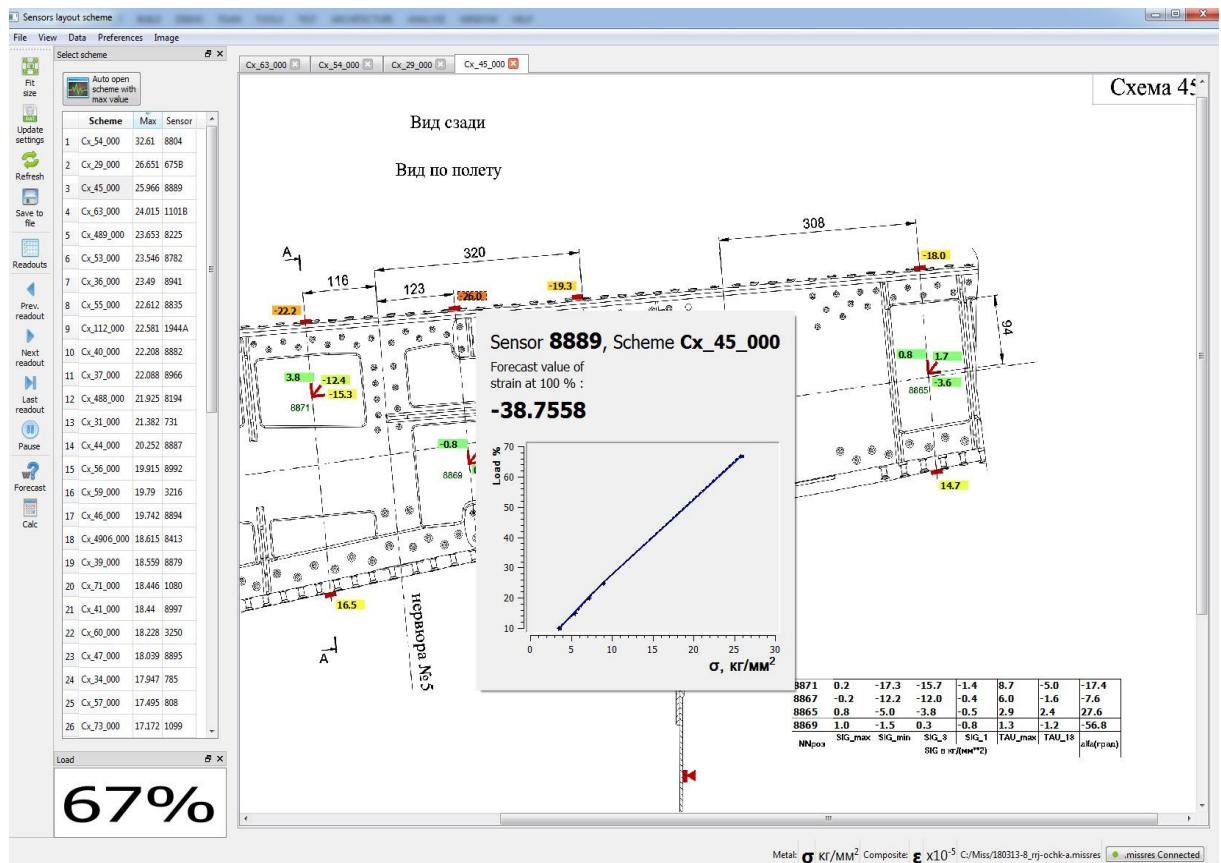


Рис. 1. Интерфейс «Модуля визуализации тензометрии»

При работе с Модулем у оператора имеется возможность выбрать необходимую схему и наблюдать за данными тензометрии в режиме реального времени. Каждый отдельный тензодатчик обозначается цветным прямоугольником, причем его местоположение на схеме соответствует реальному положению датчика на конструкции. В левую часть прямоугольника выводится номер датчика, в правую – текущее значение на нем. По сути, в качестве выводимых значений можно выбирать любые величины, доступные в программе измерений, например: напряжения, измеренные и линейаризованные, деформации, измеренные и линейаризованные, и т.д. При выполнении отсчета автоматически выполняется обновление данных. При необходимости можно увеличивать и уменьшать масштаб просматриваемой схемы. Также одной из важных опций является автоматическое открытие схемы и подсветка области, в которой находится датчик с максимальным значением. Это позволяет оператору быстро отследить максимально нагруженные места конструкции.

Как правило, для отдельных элементов конструкции известна заранее расчетная максимальная нагрузка. На основании этих данных, можно получить оценочные максимальные напряжения (деформации) на отдельных тензодатчиках. Полезной информацией в ходе проведения эксперимента являются результаты сравнения текущего

напряжения (деформации) с расчетным максимальным для каждого отдельного тензодатчика. Подобный экспресс-анализ экспериментальных данных также реализован в созданном Модуле. В качестве визуализации используется градиентный переход цвета для отображения тензодатчиков на схеме: светло-зеленые оттенки цвета используются для обозначения датчиков с низким напряжением, желтые – со средним, а красные – с большим, близким к критическому (рис. 1, 2).

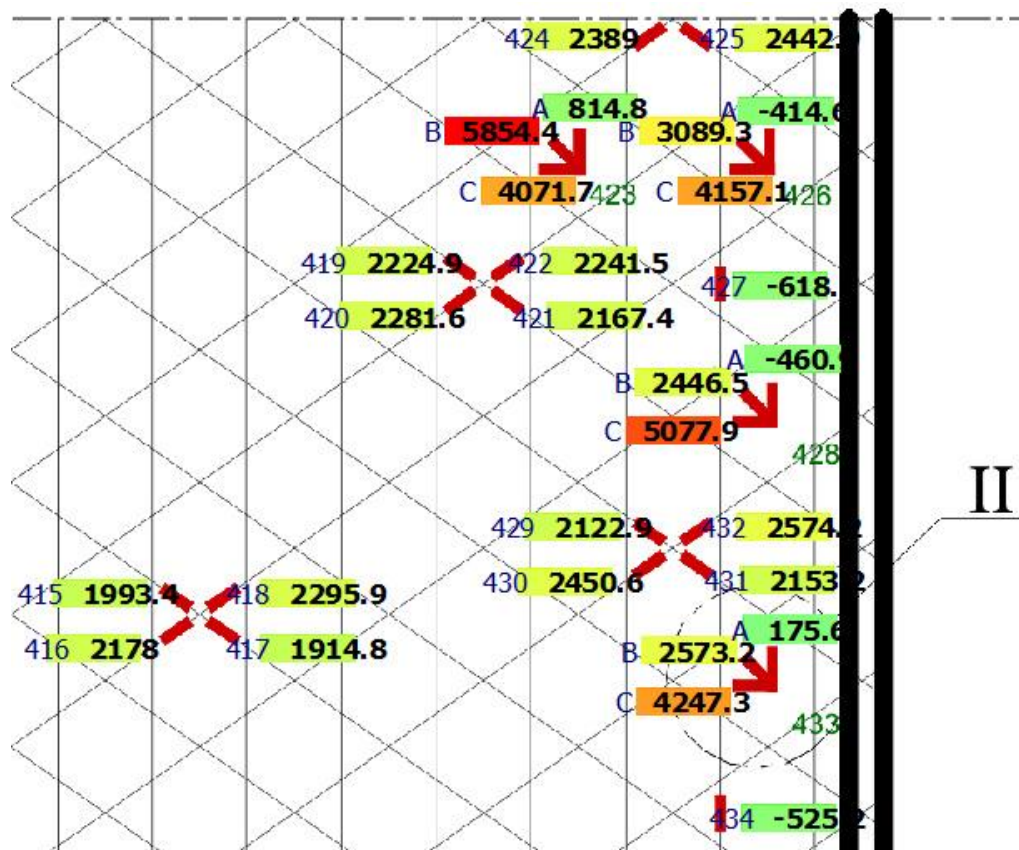


Рис. 2. Цвет отображения датчиков в зависимости от текущего значения деформации. Синие цифры в левой части прямоугольника соответствуют номеру датчика; черным цветом в правой части выводится текущее значение деформации, умноженное на 10⁶

Как известно, при статических испытаниях тензодатчики объединяются в розетки, что позволяет получать более подробную информацию о сложнапряженном состоянии в локальных частях конструкции. После обработки полученных данных в месте расположения розетки доступны такие важные характеристики, как: направления осей главных напряжений, максимальные и минимальные значения нормальных и касательных напряжений. Отметим, что за сбор и обработку этих данных отвечает система измерений. Модуль выводит их для просмотра (наряду с остальными данными тензометрии) в специальную таблицу, расположенную непосредственно на схеме изделия (табл. 1).

Соответствующие колонки в таблице обозначают следующие величины: NNроз – номер розетки на схеме; SIG_max, SIG_min – максимальные и минимальные главные нормальные напряжения; SIG_3, SIG_1 – напряжения вдоль осей датчиков; TAU_max, TAU_13 – максимальные и минимальные главные касательные напряжения; alpha(град) – угол поворота осей главных напряжений относительно основной оси датчика.

1228	-1.7	-8.5	-8.5	-1.7	3.4	0.3	2.9
1229	3.3	-7.5	-2.7	-1.5	5.4	5.4	41.9
1230	2.1	-4.6	-1.0	-1.6	3.4	3.3	47.7
1231	-0.4	-8.0	-8.0	-0.4	3.8	0.5	3.7
1232	0.5	-8.4	-6.2	-1.6	4.4	3.8	29.4
1233	0.8	-6.9	-4.9	-1.2	3.9	3.4	30.6
1234	-2.7	-7.8	-7.6	-2.9	2.5	0.9	9.9
1235	-0.0	-10.4	-7.3	-3.1	5.2	4.7	33.1
1236	1.9	-8.6	-5.3	-1.4	5.3	4.9	34.4
NNроз	SIG_max	SIG_min	SIG_3	SIG_1	TAU_max	TAU_13	alfa(град)
	SIG в кг/(мм**2)						

Табл. 1. Обработанные данные по розеткам

Интерфейс модуля позволяет также просматривать графики зависимости напряжения от приложенной нагрузки для любого тензодатчика. Для каждого датчика строится как измеренное, так и линеаризованное значения напряжения. Помимо этого на основе текущих данных для каждого датчика рассчитывается прогнозное значение напряжения при нагрузке 100% (с учетом линейности деформации). Если это значение в процессе испытаний превысит максимально допустимое для данного датчика, то модуль выдает предупреждение, на которое оператор должен обратить внимание. Таким образом, оператор получает больше информации, на основе которой может принимать решения о дальнейшем ходе испытаний.

Если до эксперимента был проведен расчет, и были получены соответствующие значения напряжений для различных процентов нагружения, то эти данные также могут визуализироваться с помощью модуля при выборе соответствующего режима просмотра. Это позволяет сопоставить расчетную модель с экспериментальными данными непосредственно во время проведения эксперимента.

Таким образом, в качестве основных достоинств Модуля можно выделить:

- упорядочивание большого объема данных тензометрии в удобной и наглядной форме, что существенно улучшает восприятие отображаемой информации;
- возможность спрогнозировать места разрушения конструкции, а также сопоставить расчетную модель с экспериментальными данными непосредственно в процессе проведения эксперимента;

- возможность оперативного выбора интересующей схемы расположения датчиков, что позволяет ведущему испытаний лучше представлять текущую картину эксперимента в целом, адекватно реагировать на критические ситуации.

Созданный Модуль успешно внедрен в состав программного обеспечения комплекса по проведению статических испытаний на прочность в НИО-3 ЦАГИ. Его работоспособность протестирована при испытаниях самолетов RRJ-100, «Рысачок», а также композитного отсека фюзеляжа перспективного самолета, проведенных НИО-3 в 2013-2014 гг. При этом было налажено подключение модуля к системам измерения «СТММ» и «Прочность».

Литература

1. *Баранов А.Н.* Статические и теплопрочностные испытания летательных аппаратов // Издательский отдел ЦАГИ. – 2009.
2. *Мохов В.Ф.* Методики подготовки и проведения статических испытаний натуральных авиационных конструкций // Труды ЦАГИ, выпуск 2615. – 1995.
3. *Серьезнов А.Н.* Измерения при испытаниях авиационных конструкций на прочность. Машиностроение, 1976.