

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

**Д.В. Курулюк (Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского)**

Представлены возможности вспомогательных программных модулей, функционирующих в комплексе с системой нагружения «Стрела» и системой измерения СТММ: модуля визуализации тензометрии и модуля ввода исходных данных. Созданные модули успешно внедрены в состав ПО комплекса по проведению статических испытаний на прочность в НИО-3 ЦАГИ.

*Ключевые слова:* прочность, испытания, тензометрия, тензодатчики, напряжение, деформация, программное обеспечение, визуализация.

В настоящее время в НИО-3 ЦАГИ для проведения прочностных испытаний применяется измерительно-вычислительный и управляющий комплекс (ИВК), который включает системы управления нагружением, средства измерения, обработки и представления информации. Среди прочих подсистем ИВК содержит модули измерения тензометрии СТММ и систему нагружения «Стрела», которые являются разработками ЦАГИ. Целью настоящей работы было создание дополнительного ПО, которое позволило бы реализовать анализ и визуализацию данных, получаемых от системы СТММ непосредственно в ходе проведения испытаний, а также помогло бы упростить и сделать более наглядным и интуитивно понятным ввод исходных данных для этих систем.

### Модуль визуализации тензометрии

В рамках настоящей работы создан программный «Модуль визуализации тензометрии». Он обеспечивает удобный и наглядный способ 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.

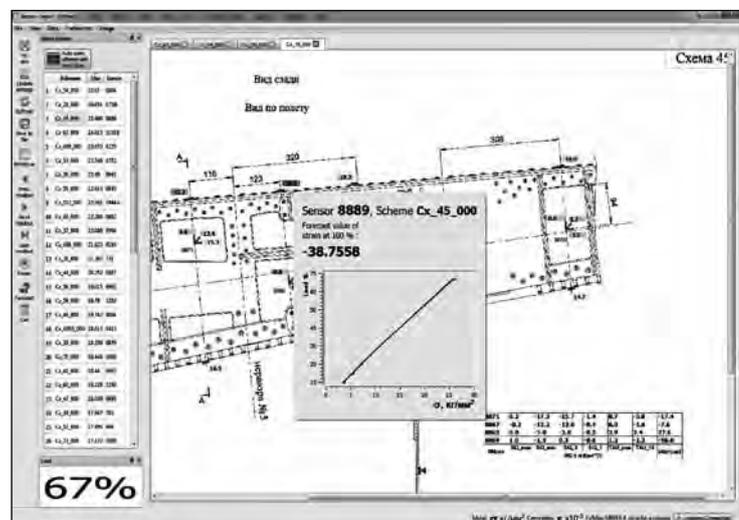
Основной концепцией «Модуля визуализации тензометрии» является отображение данных тензометрии не только в табличной форме, но и на схемах расположения датчиков, которые для каждого конкретного изделия подготавливаются заранее в среде AutoCad и переводятся в графический формат. Как правило, подготовка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

На рисунке 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.

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. Предусмотрена возможность 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 значением для каждого отдельного тензодатчика. Подобный экспресс-анализ экспериментальных данных также реализован в модуле. В качестве визуализации используется градиентный переход цвета для отображения тензодатчиков на схеме: светло-зеленые оттенки цвета используются для обозначения



Интерфейс «Модуля визуализации тензометрии»

датчиков с низким напряжением, желтые — со средним, а красные — с большим, близким к критическому.

При статических испытаниях тензодатчики объединяются в розетки, что позволяет получать более подробную информацию о сложноподвижном 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 значения этих характеристик для просмотра (наряду с остальными данными тензометрии) в специальную таблицу, расположенную непосредственно на схеме изделия.

Интерфейс модуля позволяет также просматривать графики зависимости напряжения от приложенной нагрузки для любого тензодатчика. Для каждого датчика строится как измеренное, так и линеаризованное значение напряжения. Помимо этого, на основе текущих данных для каждого датчика рассчитывается прогнозируемое 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 визуализации тензометрии» 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.

#### Модуль ввода исходных данных

В рамках настоящей работы также разработан модуль для упрощения ввода исходных данных для системы СТММ — «Модуль ввода исходных данных». Ввод исходных данных — это неотъемлемый процесс при подготовке испытаний на прочность. При этом оператор

должен ввести большой объем данных, характеризующих текущий проводимый эксперимент, а именно: список тензодатчиков, используемых при испытаниях, их тип, объединение в жгуты и розетки; список различных дополнительных датчиков (датчики перемещения, силы, угла); характеристики и тип модулей, к которым производится подключение датчиков, а также порядок их подключения; отсчеты, которые планируется выполнить при проведении испытаний и др. Введенные данные должны соответствовать реальным характеристикам и наименованиям используемых при проведении испытаний датчиков, оборудования и систем. Для корректного ввода такого большого объема информации от оператора, выполняющего подготовку к испытаниям, требуется высокая квалификация и понимание работы всех систем. «Модуль ввода исходных данных» позволяет сделать этот процесс наглядным, интуитивно понятным, а также обеспечивает контроль ошибок при вводе данных.

Важной особенностью является возможность удобного экспорта-импорта значений из Excel-таблиц, что обеспечивает универсальность работы с модулем и возможность стыковки с более ранними программами ввода исходных данных. Вся внесенная информация сохраняется в файл-случай формата xml, который в дальнейшем используется системами СТММ и «Стрела» для их работы.

В качестве основных достоинств «Модуля ввода исходных данных» отметим:

- удобный и автоматизированный процесс ввода большого объема исходных данных, возможность проведения экспорта/импорта данных в/из Microsoft Excel;
- контроль ошибок в процессе ввода;
- уменьшение нагрузки на оператора при вводе исходных данных, а также уменьшение срока обучения этому процессу.

#### Заключение

Созданные в рамках настоящей работы модули успешно внедрены в состав ПО комплекса по проведению статических испытаний на прочность в НИО-3 ЦАГИ. Их работоспособность протестирована при испытаниях самолетов RRJ-100, «Рысачок», а также агрегатов самолета МС-21, проведенных НИО-3 в 2014-2016 гг. Планируется активное применение созданного ПО при полномасштабных испытаниях самолета МС-21.

#### Список литературы

1. Дзюба А.С., Дударьков Ю.И., Замула Г.Н. и др. Статические испытания регионального самолета RRJ-95. //Тр. ЦАГИ. М.: Изд. Отдел ЦАГИ. Вып. 2698. 2011.
2. Баранов А.Н. Статические и теплопрочностные испытания летательных аппаратов // Издательский отдел ЦАГИ. 2009.
3. Мохов В.Ф. Методики подготовки и проведения статических испытаний натуральных авиационных конструкций // Тр. ЦАГИ. Вып. 2615. 1995.
4. Серьезнов А.Н. Измерения при испытаниях авиационных конструкций на прочность. Машиностроение, 1976.

*Дмитрий Вадиславович Курулюк — младший научный сотрудник Центрального аэрогидродинамического института им. проф. Н.Е. Жуковского.  
E-mail: DKurulyuk@gmail.com  
Контактный телефон 8 (495) 556-40-98.*