

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Катенин Д. А., Королёв Н. Н., Ионов А. В.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Россия

При проектировании и в производстве авиационной техники и ее компонентов часто встает задача выявления причины возникновения разницы между значениями параметров и характеристик объекта, которые были получены в ходе расчетов и теми же значениями, полученными на физических объектах. При проведении экспериментальных исследований элементов ЛА на результаты эксперимента свое влияние оказывают расхождения между геометрическими параметрами расчетной (идеальной) модели и параметрами того объекта, который фактически используется в эксперименте. Сходная проблема возникает при технологической отработке процессов изготовления деталей авиационной техники, например, процессы литья или штамповки. К основным причинам возникновения расхождений между геометрией расчетного и физического объекта могут относиться:

- допущения, которые принято использовать для упрощения расчетной задачи (например, отсутствие выступающих крепежных элементов, швов сварных соединений и др.);
- естественные отклонения размеров от номинального значения связанные с технологией производства изделия;
- несоответствие технологии производства и технологической оснастки геометрии заданной в расчетной модели (брак).

В данной работе авторами рассмотрен методический подход по формированию расчетных моделей элементов авиационной техники, основанный на цифровой обработке (оцифровке) физических объектов. Реализация предлагаемого подхода должна позволить:

- повысить достоверность результатов расчетов;
- упростить методику создания математических моделей процессов и конструкций;
- повысить качество продукции и снизить ее себестоимость за счет уменьшения количества необходимых итераций создания тестовых и экспериментальных объектов.

В зависимости от сложности геометрии, размеров и материалов разница между идеальной моделью и физическим объектом может лежать в широком диапазоне значений – от микрометров для высокоточных малоразмерных деталей, до миллиметров для крупногабаритных деталей фюзеляжа ЛА. Соответственно и измерительное оборудование для проведения оцифровки объектов требуется с различными техническими возможностями и характеристиками. Это могут быть контактные измерения с помощью портальных или беспортальных многошарнирных контрольно- измерительных машин; бесконтактные измерения на основе оптических и лазерных устройств.

В работе рассматриваются следующие физические объекты:

- лопасти из композиционного материала для многоцелевого вертолета с длиной в 10 м, шириной около 0.5 м и максимальной толщиной порядка 200 мм. Задачей исследования является получение геометрических параметров для проведения уточняющих газодинамических расчетов аэродинамических характеристик и сравнение геометрической формы лопастей между собой;
- модель гиперзвукового летательного аппарата. Задачи исследования: определение отклонений геометрической формы физического объекта от конструкторской модели; оцифровка элементов ЛА для проведения уточняющих газодинамических, тепловых и прочностных расчетов; определение деформаций формы физического объекта после испытаний и дальнейшее получение аналитических значений нагрузок вызвавших эти деформации;
- центробежное колесо турбомшины. Задачи исследования: определение изменений формы и размеров центробежного колеса на различных этапах его изготовления. На основе полученных данных – определение поправок, которые необходимо внести в

параметры технологических операций и геометрию колеса с целью повышения качества изделия и совершенствования технологического процесса.

Предлагаемый в работе метод основан на возможностях оборудования Ресурсного Центра МАИ в области авиастроения, в частности, мобильный измерительный комплекс - манипулятора типа «рука» (Metris, Бельгия), оснащенный лазерной сканирующей системой Model Maker D100; ноутбук с программным обеспечением KUBE (Metris, Бельгия), CADstation и серверные системы с программными продуктами CAD/CAE/CAM/PLM.

Результатом оцифровки лазерным сканером Model Maker D100 является файл (файлы) формата *.sab2 который содержит описание физического объекта в виде облаков точек. Такая форма представления результатов требует дополнительной обработки в специализированном программном обеспечении (ПО). Математический аппарат такого ПО позволяет получать данные, которые возможно использовать в проведении расчетов которые уже будут основаны на геометрии реального физического объекта. В работе использованы программные продукты Geomagic Studio и Geomagic Qualify.

Для каждого из объектов, который подвергается исследованию данным методом, в работе рассмотрены несколько вопросов:

- установка объекта и измерительного оборудования;
- сканирование;
- обработка облака;
- анализ полигональной модели.

При установке объекта следует учитывать, что во время всего процесса сканирования относительное положение различных частей объекта относительно друг друга должно оставаться неизменным иначе в последующем будет невозможно добиться совмещения разных участков сканирования между собой. Обеспечить это условие на малоразмерном центробежном колесе не представляет сложностей, а вот для установки лопасти вертолета, которая под собственным весом изгибается и поворачивается, требуется проводить специальные мероприятия по ее закреплению и базированию. В свою очередь сканер, во время сканирования объекта или его участка, должен оставаться неподвижным относительно объекта сканирования. Здесь так же могут требоваться дополнительные мероприятия.

Сам процесс сканирования так же связан с определенными сложностями. Качество и точность сканирования во многом зависят от правильного подбора мощности лазерного излучения, правильного положения сканера относительно объекта, скорости сканирования и др. Немаловажным аспектом сканирования является объем данных при сканировании. При типовых настройках сканирования таких изделий как, например лопасть, участок сканирования в метр длинны лопасти в цифровом виде будет представляться как около имеющихся ноутбуков. Сканер и программное обеспечение позволяют проводить сканирование отдельными участками, в последствии совмещая их уже в Geomagic Studio, но для этого необходимо использовать специальные реперные точки привязки сканирований, иногда и совмещать бесконтактный метод исследования с контактным (у применяемого мобильного комплекса имеется такая возможность).

Обработка полученных после сканирования облаков точек также вносит существенный вклад в конечную погрешность результатов сканирования. В работе рассмотрены вопросы прореживания облака точек, сшивка облаков, математика триангуляции, создание полигональных моделей, особенности работы программного обеспечения, его настройки, импорт-экспорт, форматы получаемых файлов для различных целей выполнения работ.

По полученным цифровым моделям физического объекта возможно получить следующие данные:

- различие между идеальной (CAD) моделью и физическим объектом или между двумя сканированиями физического объекта;
 - в трехмерной постановке;
 - в двухмерной постановке;
- геометрическую форму исследуемого объекта:

- в виде координат точек задающих определенные профили объекта;
 - в текстовом формате;
 - в графическом двухмерном или трехмерном формате;
- в виде сетки кривых;
- в виде поверхностной модели;
- в виде трехмерной твердотельной модели.

Как отдельная проблема в работе кратко рассматриваются вопросы хранения и систематизация полученных в процессе выполнения оцифровки физических объектов данных.

Таким образом, например, применение предлагаемого метода на модели гиперзвукового ЛА позволило получить:

- физический объект в составе испытательного стенда в виде положения объекта относительно потока в барокамере;
- геометрию модели ЛА отличную от идеальной модели в связи с производственным браком и погрешностями в изготовлении;
- геометрию модели ЛА до и после цикла испытаний.

На основе полученных данных возможно провести пересчет газодинамических, тепловых и прочностных характеристик в соответствии с геометрической формой физического объекта. Также на основе данных об изменении геометрической формы модели ЛА (деформациях) после испытаний возможно разработать метод определения действовавших на объект нагрузок, на основе которым, в свою очередь, построить модель протекающих во время испытаний газодинамических процессов. Как результат – повышение точности как численного эксперимента, так и эксперимента с физическим объектом.

Результатами проделанной работы стал ряд методических материалов и инструкций: методика юстировки измерительного оборудования; методика установки и закрепления измерительного оборудования; требования к установке и креплению объектов оцифровки; инструкция по настройке сканера Model Maker D100 и ПО KUBE; методика контактного измерения объектов простой геометрической формы; методика сканирования изделий сложной геометрической формы; методика обработки облаком точек в системе Geomagic Studio; инструкция по совмещению облаков точек в системе Geomagic Studio; методика по созданию на основе облаков точек полигональных модели; методика проведения анализа отклонений формы и размеров объектов сканирования в системе Geomagic Qualify.

Применение метода цифровой обработки физических объектов в производстве и экспериментальных исследованиях авиационной техники позволяет сократить время и стоимость доводки опытных образцов техники.