

УДК 621.9.08

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Степаненко И. С., Болотов М. А., Рузанов Н. В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

В процессе измерения на координатно-измерительной машине её узлы подвергаются деформациям, что в итоге влияет на точность измерения. Для оценки влияния напряжённно-деформированного состояния на погрешность измерения может использоваться конечно-элементная модель, созданная с использованием ANSYS.

Моделируемая измерительная система состоит из щупа и объекта измерения. В случае, когда измеряемая поверхность является сложной аэродинамической, контакт измерительной головки и поверхности происходит не под прямым углом. Вследствие этого измерительный наконечник отгибается, и в итоге координаты измеренной точки поверхности отличаются от действительных координат в точке касания на величину отгиба, являющуюся векторной.

Целью исследования является оценка погрешности измерения, возникающей вследствие деформации узлов координатно-измерительной машины при измерении поверхностей сложной криволинейной формы.

Объектом исследования выбран контакт измерительной головки щупа специализированной КИМ с поверхностью пера лопатки. Моделирование производилось в САЕ-системе ANSYS. Общая расчётная схема представлена на рисунке 1.

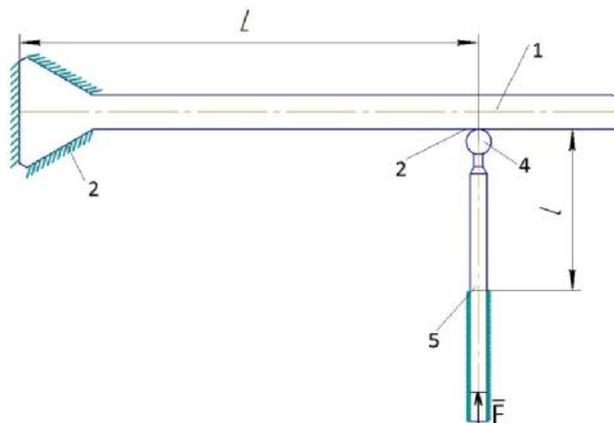


Рис. 1. Общая расчётная схема

Закрепление измеряемой лопатки 1 осуществляется по плоским поверхностям хвостовика трапециевидной формы 2. На измеряемую поверхность лопатки 3 с усилием  $F$  действует измерительный наконечник сферической формы 4 щупа 5. Из-за силового воздействия возникают деформации, приводящие к погрешностям измерения. Общая расчётная схема была разделена на две части для того, чтобы уйти от моделирования контакта измерительного наконечника с измеряемой поверхностью. Возникающая из-за деформации системы погрешность измерения будет складываться из двух составляющих: от деформации лопатки в точке контакта и от деформации измерительного наконечника.

Первая расчётная схема приведена на рисунке 2. Она включает в себя моделируемую лопатку, к которой приложено сосредоточенное усилие  $F$ . В расчётной схеме были наложены граничные условия, исключающие перемещение поверхностей

хвостовика трапецевидной формы. Также задаётся сосредоточенная сила  $F$ . Расчётная схема не может быть заменена классической схемой консольной балки в связи с тем, что лопатка имеет убывающие по толщине сечения.

В результате моделирования оценивается перемещение точки в месте контакта прикладываемой сосредоточенной силы  $\Delta_{\text{л}}$ . Разработана параметрическая модель в соответствии с расчётной схемой, в которой имеется возможность изменения параметров  $L$  – вылета лопатки и величины прикладываемой силы  $F$ .

Во второй расчётной схеме (рисунок 3) рассматривается деформация измерительного щупа.

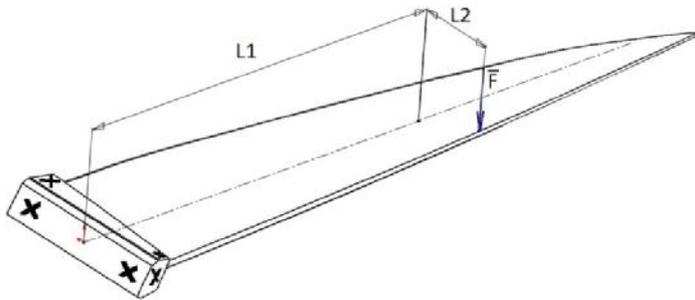


Рис. 2. Первая расчётная схема

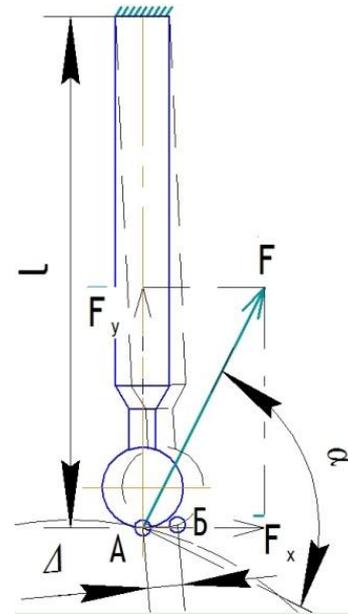


Рис. 3. Вторая расчётная схема

Щуп давит на измеряемую поверхность с определённой силой  $F$ , направленной по нормали к поверхности в точке контакта наконечника с поверхностью (угол  $\alpha$ ). В то же время на сам щуп действует противоположно направленная сила реакции опоры. Исходя из этого, можно упростить расчётную модель до обычной консольно закреплённой балки.

Также во время измерения щуп может перемещаться в продольном направлении. В зависимости от вылета щупа изменяется плечо действующей силы. Вылет щупа учитывается путём изменения длины его цилиндрической части (расстояния до заделки  $l$ ).

Было проведено 84 расчёта с комбинациями следующих параметров. Сила  $F = 0,5 \text{ Н}; 1 \text{ Н}; 1,5 \text{ Н}$ . Угол нормали  $\alpha = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ . Вылет щупа  $l = 10, 20, 30, 40, 50 \text{ мм}$ .

Анализируя результаты исследований можно отметить, что деформация (и, соответственно, погрешность измерения) растёт с увеличением длины измерительного щупа и с увеличением угла действия силы. При этом большее влияние оказывает длина измерительного щупа. Полученные в ходе исследований зависимости деформаций измерительного щупа от рассмотренных в работе факторов являются нелинейными.