

сохранении неизменным состава смеси происходит интенсификация протекания химических реакций горения (ХРГ) в зоне химических реакций (ЗХР) и, как следствие, рост ионного тока. Из-за сокращения ширины ЗХР и времени протекания ХРГ при добавке водорода возможно получать скорости распространения пламени при обеднении смеси, сравнимые со скоростью распространения пламени для стехиометрической смеси,  $\alpha = 1,0$ . Этот результат является важным для практического применения, так как указывает на направление достижения меньшей токсичности отработавших газов (ОГ) и повышения эффективности работы двигателя при обеднении смеси за счет увеличения скорости распространения пламени.

Одна и та же добавка водорода при обеднении смеси с  $\alpha = 1,0$  до 1,3 приводит к увеличению ионного тока в 2,5 раза, нормальной скорости распространения пламени в 0,852. При дальнейшем обеднении смеси без добавки водорода горение отсутствует. Сравнение приходится производить на режимах минимальной и максимальной добавок (1 и 6%). В этом случае ионный ток вырос в 3, а скорость

распространения пламени увеличилась в 2,13 раза. Таким образом экспериментально показано, что между величиной ионного тока и нормальной скоростью распространения пламени существует непосредственная связь.

Сравнение значений турбулентной скорости распространения пламени, определенной по 5-и электродному датчику и нормальной – по одноэлектродному датчику, показывает, что в непосредственной близости от стенки цилиндра сгорание ТВС протекает при крупномасштабной турбулентности.

Выполнена оценка концентрации несгоревших углеводородов (СН) по ширине ЗХР и изменению интенсивности протекания реакций горения в заключительной фазе сгорания. В области бедной смеси  $\alpha > 1,2$  отмечено уменьшение ширины ЗХР и увеличение прироста ионного тока, что сопровождается снижением концентрации несгоревших СН. При обогащении смеси  $\alpha < 1,2$  ширина ЗХР продолжает сокращаться, но отмечается уменьшение прироста ионного тока и концентрация несгоревших СН начинает расти.

УДК 620.178.4/6

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «ARAMIS» В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ**

Собуль А.В., Ермаков А.И., Лёжин Д.С.

Самарский государственный аэрокосмический университет

### **APPLICATION OF CONTACTLESS MEASURING COMPLEX «ARAMIS» IN EXPERIMENTAL TASKS**

*Sobul A.V Ermakov A.I. Lezhin D.S. Samara State Aerospace University. Two high-speed cameras capture movement and deformation of an object which allows to compute surface stress and strain. Measurements, stress, displacement, strain, experiments*

При проведении экспериментально - исследовательских работ по определению напряженно – деформированного состояния для снятия результатов эксперимента необходимо множество различных датчиков, позволяющих оценивать значения силы и перемещений в отдельных точках

исследуемого объекта при приложении нагрузки. В большинстве случаев их использование является затруднительным или вовсе невозможным в связи различными факторами: сложной геометрией исследуемого объекта, спецификой экспериментального оборудования и

спецификой проведения эксперимента. Кроме того, прикрепление датчиков к исследуемому объекту вносит порой весьма существенную погрешность в результаты эксперимента. В связи с этим с развитием экспериментальной базы наблюдается повышенный интерес к измерительным системам, основанным на бесконтактных принципах, и, соответственно, лишенным перечисленных выше недостатков. Так, в последнее время появилось несколько новых бесконтактных измерительных систем, основанных на различных физических принципах, в сегменте измерения расстояний и перемещений. Известны бесконтактные методы исследования напряженного состояния – поляризационно – оптический, методы хрупких покрытий, муаровых полос и голографические методы, однако наиболее распространенным остается метод тензометрирования. Информация снимается с тензодатчиков, которыми обклеивается исследуемый объект, в процессе нагружения. Появляются новые, более надежные датчики, клеи, совершенствуется технология приклеивания. Несмотря на это, подготовка изделия к испытаниям – достаточно трудоемкий и кропотливый процесс. Приклеенные датчики, огромное количество проводов, соответственно, частые выходы их из строя – безусловные недостатки данного способа измерения. Кроме того, по указанным выше причинам, использование тензометрирования в ряде случаев оказывается невозможным в принципе в ходе эксперимента. Однако и в данной области появляются новые методы исследования напряженного состояния и новые измерительные системы. Одной из таких является бесконтактная система измерения деформаций ARAMIS фирмы GOM (Германия). Такая система была закуплена центром вибрационной прочности авиационных изделий СГАУ в ходе инновационного проекта.

В основе работы данной системы лежит фотограмметрический принцип измерения деформаций. Он основан на анализе изменения изображения исследуемого объекта в процессе испытания.

Изображение объекта получается с помощью видеокамеры и записывается в компьютер. Для оценки изменения изображения программа обработки должна сравнить первоначальное изображение объекта с каждым последующим. Для этого объект представляется системой обработки как упорядоченная совокупность точек – пикселей изображения. Для того, чтобы получить качественный результат, поверхность объекта должна иметь стохастическую структуру. Это достигается специальной подготовкой поверхности перед экспериментом – напылением контрастной фактуры. Для определения изменений по кадрам начальное (ненагруженное) пиксельное изображение объекта разбивается на прямоугольные элементы – фасеты, грани которых при распознавании образа объекта оказываются привязанными к соответствующим точкам поверхности объекта. При обработке программа распознает образы объекта на последующих кадрах, в том числе грани фасетов, по граням фасетов строит фасетную структуру на этих кадрах и отслеживает перемещение и формоизменение фасетов, на основании чего рассчитываются перемещения и деформации.

Как видно, данный бесконтактный способ измерения деформаций является косвенным. Результаты измерений в этом случае напрямую зависят от точности измерения линейных и угловых перемещений точек, качества алгоритмов и точности расчетов. В свою очередь, точность измерений определяется разрешением при съемке и размером исследуемой области. Технические возможности измерительной системы ARAMIS позволяют распознавать перемещения точек с дискретностью менее 1 мкм. Кроме того, имеющаяся в нашем распоряжении система имеет возможность распознавать не плоские, а объемные поверхности за счет одновременной съемки двумя камерами, расположенными под определенным углом друг относительно друга. При последующей совместной обработке двух изображений на их основе составляется объемный образ исследуемой поверхности объекта, и соответственно, перемещения и деформации рассчитываются

не в плоскости, а в пространстве. В силу специфики данного метода речь идет исключительно о поверхностных деформациях, что может быть вполне справедливо при исследовании тонкостенных оболочек, а также изделий, у которых деформации в направлении съемки постоянны по величине. Точность пересчета результатов измерений в перемещения и деформации декларируется производителем – фирмой GOM. В настоящее время авторы проводят тестовые эксперименты для подтверждения указанных характеристик, а также для выявления факторов, влияющих на качество и точность расчетов.

Область применения измерительной системы ARAMIS расширяется за счет использования в его составе высокоскоростных камер. Это дает возможность исследовать не только статическое нагружение, но и исследовать динамику процесса. Так, были проведены эксперименты по исследованию форм колебаний объектов. Результаты, полученные в ходе экспериментов согласуются с результатами расчетов, однако для использования экспериментальных результатов в качестве эталонных при верификации результатов расчета необходимо приобретение опыта проведения и обработки эксперимента.

УДК 621.91.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СБОРКУ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ РОТОРА ГТД

Собуль А.В., Болотов М.А.

Самарский государственный аэрокосмический университет

### RESEARCH OF INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON ASSEMBLY AND OPERATION PARAMETERS OF A GAS TURBINE ENGINE ROTOR

*Sobul A.V., Bolotov M.A. Accuracy of geometric parameters of gas-turbine engine rotor elements is vital due to the fact that increased rotor misbalance can lead to unwanted deformations and vibration.*

Целью исследований является оценка влияния точности изготовления и контроля радиально-углового расположения центровочных элементов в роторе ГТД на уровень вибраций и другие эксплуатационные характеристики ротора ГТД. В работе рассматривалось соединение диска и вала турбины ВД двигателя НК-12СТ. Взаимное положение данных деталей определяется 3 призонными болтами (рис 2). В соответствии с этим на точность центрирования будет оказывать влияние фактическая точность выдерживания радиально – угловых параметров расположения отверстий под втулки 3 и призонные болты 2. Погрешности

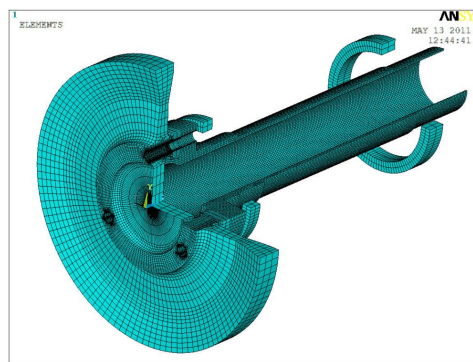


Рис.1. Конечно элементная модель ротора

выдерживания данных параметров вызывают смещение осей вала относительно диска, что в свою очередь является причиной смещения центра масс относительно общей оси и появления вибраций.