

УДК 535.8

Р.Н. Сергеев, О.А. Журавлев, А.В. Ивченко, Ю.И. Кондрашов

Самарский государственный аэрокосмический университет, Россия,
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34, E-mail: RomanSR@yandex.ru

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ГАЗА ПРИ РАЗУПРОЧНЕНИИ КЛАПАНА

Анализируются полученные с помощью созданной лазерной системы диагностики результаты исследования процесса разгерметизации серийного образца дренажно-предохранительного клапана и выхода его в режим автоколебаний при пульсационном и гармоническом возбуждении.

ДРЕНАЖНО-ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЙ КЛАПАН, ЛАЗЕРНЫЙ «НОЖ», ЦИФРОВОЙ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТР, РАЗГЕРМЕТИЗАЦИЯ, ГАЗОВЫЙ ПОТОК

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость постоянного совершенствования герметизированных соединений авиационной и ракетной техники, нефтегазовых систем связана с ужесточением режимов эксплуатации агрегатов, находящихся под воздействием рабочей среды, а также многочисленных факторов влияния внешних условий [1]. Решению проблемы герметизации должно способствовать создание высокоинформативных контрольно-измерительных и диагностических систем, обеспечивающих проведение исследований в реальном масштабе времени, имеющих разумную стоимость и не требующих использования лабораторных условий. Таким требованиям в определенной степени отвечает разработанная авторами лазерная панорамная система, основанная на спекл-интерферометрическом методе автоматизированного определения вибрационных характеристик тарели или рабочей пластины клапана, совмещенная с методом прямой визуализации структуры протекающего газа с упругим рассеянием света на частицах, специально вводимых в газовую среду [2]. Разработанная диагностическая система показала свои возможности при контроле неполноты прилегания рабочей пластины к седлу в экспериментальной модели клапана с акустическим и пульсационным возбуждением [3].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

В данной работе в качестве объекта исследования использовался серийный образец дренажно-предохранительного клапана с двумя рабочими пластинами. Для контроля неполноты прилегания рабочих пластин к седлу клапана и визуализации процесса формирования потока в начальный момент отжатия пластины от седла был применен метод лазерного «ножа». Формирование световой полосы производилось оптической системой, размещенной на выходном торце He-Ne лазера, который в свою очередь закреплялся на поворотной стойке (рис. 1). В качестве источника аэрозоля применялся генератор дыма с эжекционным механизмом ввода частиц в поток сжатого воздуха. В состав пневмомагистрали клапана входил также расходомер типа SFEI-LE фирмы Dantec с диапазоном измерения до 200 л/мин. Характерной особенностью схемы эксперимента на рис. 2 является

угловая ориентация световой полосы 1 на экране 2, согласованная с углом наклона к плоскости горизонта выходящего из клапана потока. Такое направление потока задается соответствующей геометрией контактной пары при малом расходе Q газа.



Рис. 1. Лазерная установка с формирователем светового «ножа»

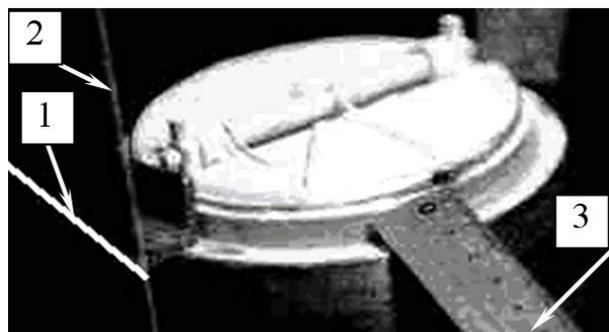


Рис. 2. Схема фрагмента экспериментальной установки со следом световой полосы 1 на экране 2 и масштабной линейкой 3

многоструйного истечения можно объяснить наличием между контактирующими

поверхностями капиллярных щелей, через которые протекает рабочая среда на этапе разгерметизации клапана. Размер щелей зависит от деформации гребешков микронеровностей поверхностей запорной пары [4]. Дальнейшее увеличение расхода газа приводит к возрастанию доли потока, проходящего через среднюю часть отжимаемой от седла полукруглой рабочей пластины – створки. Возбуждение режима автоколебаний сопровождалось поперечным структурированием выходящего из клапана потока (рис. 3б).

На рис. 3 представлен характерный вид полученных структур газового потока, выходящего из клапана как в начальный момент отжатия рабочей пластины от седла (рис. 3а), так и при переходе в режим автоколебаний (рис. 3б). Выделенный на рис. 3а режим

многоструйного истечения можно объяснить наличием между контактирующими поверхностями капиллярных щелей, через которые протекает рабочая среда на этапе разгерметизации клапана. Размер щелей зависит от деформации гребешков микронеровностей поверхностей запорной пары [4]. Дальнейшее увеличение расхода газа приводит к возрастанию доли потока, проходящего через среднюю часть отжимаемой от седла полукруглой рабочей пластины – створки. Возбуждение режима автоколебаний сопровождалось поперечным структурированием выходящего из клапана потока (рис. 3б).



а)

б)

Рис. 3. Визуализация структуры газового потока в начальный момент открывания клапана: а) режим многоструйного истечения при расходе воздуха ≤ 4 л/мин; б) структура потока при возбуждении автоколебаний рабочей пластины (расход воздуха 6 л/мин)

Малый коэффициент жесткости пружин клапана и малая величина расхода газа, необходимого для возбуждения автоколебаний ($Q \geq 6$ л/мин) позволили применить разработанный в СГАУ помехоустойчивый цифровой спекл-интерферометр (ЦСИ) для получения качественных картин пульсационных колебаний пластин на начальном этапе формирования щелевого зазора. Отсутствие на рис. 4 характерного распределения интерференционных полос говорит о негармоничном законе колебаний торцевой поверхности клапана. Связывая нарастающие по мере увеличения расхода Q газа зоны потемнения спекл-структуры с областями виброперемещений, можно говорить о более раннем возбуждении верхней пластины, а также о том, что самая упругая область торцевой поверхности проходит через крепежные стойки. В развитом режиме автоколебаний при

наличии ударов пластин по седлу ($Q \geq 15$ л/мин) зона потемнения спекл-структуры покрывает всю площадь торцевой поверхности клапана. Последней включается в колебательный процесс кольцевая поверхность торца силового корпуса клапана (рис. 4г).

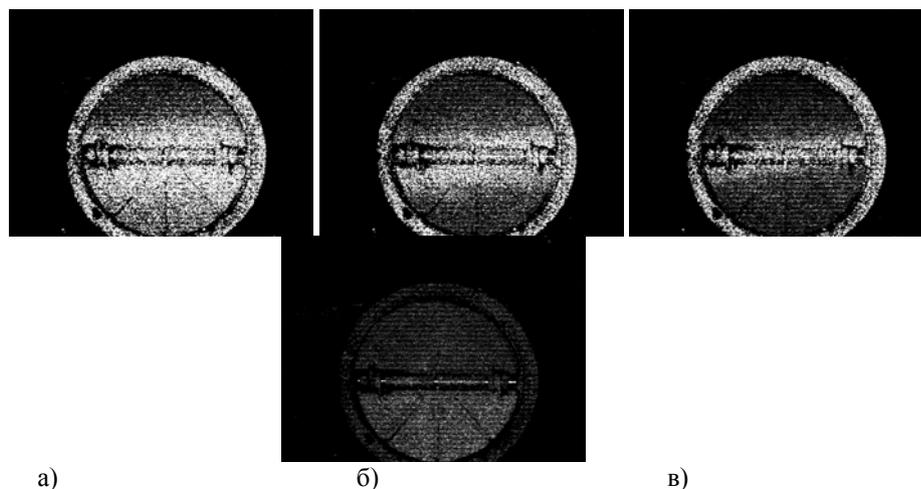


Рис. 4. Спекл-картины пульсационных колебаний пластин в потоке проходящего через клапан воздуха при последовательном возрастании расхода Q : а) $Q=3$ л/мин; б) $4,7$ л/мин; в) $5,6$ л/мин; г) ≥ 15 л/мин

Для определения значений виброперемещений в каждой точке поверхности рабочих пластин необходимо перейти к акустическому механизму их возбуждения на резонансных частотах и регистрации соответствующих спекл-интерферограмм. На рис. 5 приведен характерный вид спекл-интерферограмм резонансных форм колебаний рабочих пластин пневмоклапана, возбуждаемых в поле звукового динамика при $Q=0$.

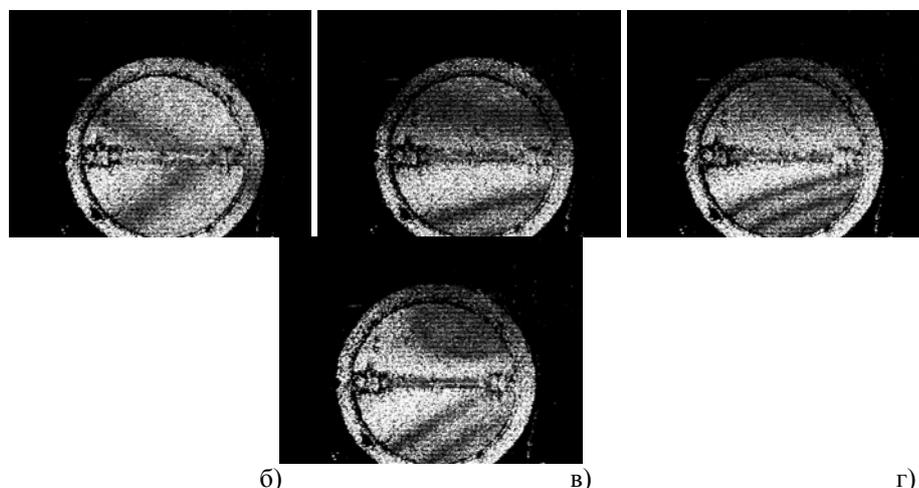


Рис. 5. Спекл-интерферограммы резонансных форм колебаний рабочих пластин клапана при среднем уровне интенсивности звукового поля на частотах: а) 420 Гц; б) 515 Гц; в) 610 Гц; г) 780 Гц

Следует отметить, что повышенная жесткость анализируемых пластин, их малые размеры и специфичность заделки привели к снижению интенсивности возбуждаемых вибраций и усложнению процесса визуального анализа динамических спекл-картин в применяемом оптико-электронном методе выявления собственных форм и частот колебаний.

Из приведенных на рис. 5 спекл-интерферограмм видно различие форм резонансных колебаний верхней и нижней пластин. Угловая ориентация интерференционных полос и уширение поля узловой полосы в области левой крепежной стойки могут быть связаны с превышением силы прижатия левой пружины над правой.

Характерный вид полученных спекл-интерферограмм резонансных форм колебаний рабочих пластин при пульсационно-акустическом возбуждении пневмоклапана приведен на рис. 6.

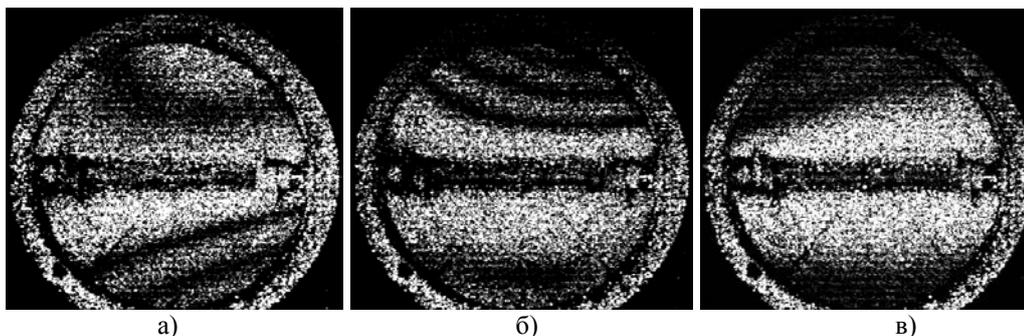


Рис. 6. Изменение спекл-интерферограмм резонансной формы колебаний рабочих пластин на частоте 669 Гц при увеличении расхода Q проходящего газа: а)- $Q = 0$; б)- $Q = 4,7$ л/мин ; в) $Q = 10$ л/мин

Из рис. 6а видно, что при отсутствии расхода газа пластины клапана возбуждаются акустическим сигналом и имеют различающиеся формы колебаний на выделенной резонансной частоте. При малом расходе проходящего газа на этапе разгерметизации (рис. 6б) увеличивается амплитуда резонансных колебаний верхней пластины и уменьшается амплитуда колебаний нижней пластины. Дальнейшее увеличение расхода приводит к возбуждению автоколебаний, что проявляется в потере устойчивости резонансных форм на верхней и нижней пластинах (рис. 6в).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют говорить о возможности применения созданной диагностической системы не только для контроля герметичности пневмоклапанов, но и для исследования самого процесса разгерметизации, начиная от момента подачи газа в клапан и до выхода его в режим автоколебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаенко В.Ф. Пневмоавтоматика ракетно-космических систем. М.: Машиностроение, 1979. 168 с.
2. Исследование резонансных колебаний пластины в условиях пульсационно-вибрационного возбуждения/ О.А. Журавлев, А.В. Ивченко, А.Н. Крючков, Р.Н. Сергеев //Материалы докл. междун. н.-т. конференции «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». Самара: СГАУ, 2009, Ч.1. С. 194-196.
3. Исследование резонансных колебаний рабочей пластины в экспериментальной модели пневмоклапана / О.А. Журавлев, С.Ю. Комаров, Г.М. Макарьянц и др. // Вестник СГАУ, 2011, №3 (27). С. 363-368.
4. Крагельский И. В. Основы расчётов на трение и износ/ И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. М.: Машиностроение, 1977. 526 с.

R. N. Sergeev, O. A. Zhuravlev, A.V. Ivchenko, Y. I. Kondrashov

Samara State Aerospace University, Russia,443086, Samara, Moscow. shosse, 34,
E-mail: RomanSR@yandex.ru

VISUALIZING THE STRUCTURE OF THE GAS STREAM SOFTENING VALVE

Analyzes obtained using a laser system diagnostic results of a study of the process of depressurization production sample safety vent valve and release it into a self-excited oscillations in pulsating and harmonic excitation.

**SAFETY VENT VALVE, THE LASER "KNIFE", DIGITAL SPECKLE INTERFEROMETRY,
DEPRESSURIZATION, THE GAS FLOW**