

# СПОСОБ И УСТРОЙСТВО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ ВОЗДУШНОГО СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВЫХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

Павлов П. В.<sup>1</sup>, Петров Н. В.<sup>2</sup>, Колесов С. С.<sup>1</sup>, Петров О. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ВУНЦ ВВС «ВВА», г. Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики г. Санкт-Петербург, Россия

Согласно статистики авиационных происшествий (АП) и авиационных инцидентов (АИ) наблюдается рост случаев, предпосылкой которых стало частичное или полное разрушение детали, узла или агрегата воздушного судна (ВС) в процессе эксплуатации. Это в первую очередь связано с износом авиационной техники (АТ), ухудшением качества ремонта агрегатов ВС на авиаремонтных предприятиях, уменьшением числа высококвалифицированных авиационных специалистов, недостаточным финансированием и т. д. Промышленностью с целью продления ресурса и перехода к эксплуатации по техническому состоянию ВС выпущен ряд нормативных документов и бюллетеней, регламентирующих перечень допустимых повреждений и дефектов агрегатов, узлов и авиационных деталей с которыми разрешается их дальнейшая эксплуатация.

Устройства неразрушающего контроля, которыми на сегодняшний момент оснащены эксплуатирующие подразделения государственной авиации (ГА) РФ (эндоскопы, увеличительные лупы и т. д.) не удовлетворяют требованиям нормативной документации промышленности, так как результат их измерений носит субъективный характер. Таким образом, имеет место несоответствие между требованиями предъявляемые промышленностью к устройствам НК и возможности устройств НК, которыми на сегодняшний момент обеспечены подразделения ГА РФ.

Разнообразие высокоточных лазерных методов НК, а так же наличие современной элементной базы оптоэлектроники (полупроводниковые лазерные диоды, матричные фотоприемники), а так же возможность реализации различных алгоритмов обработки изображений на портативных ЭВМ позволяют приступить к разработке мобильных, автономных и портативных средства диагностики, позволяющие выполнять весь перечень мероприятий по НК оптически-непрозрачных поверхностей авиационных деталей на высоком технологическом уровне.

Из совокупности методических и технических приемов, удовлетворяющих требованиям промышленности, в работе рассматривается круг задач с применением метода спекл-структур оптического излучения (МССОИ), основанного на анализе спекл-картин, образующихся при отражении когерентного оптического излучения от шероховатой поверхности контролируемого объекта.

Традиционно, в оптических методах диагностики в качестве зондирующего излучения используют плоские или сферические волновые фронты, что связано с простотой их аналитического описания и получения на практике. Однако, если взглянуть на оптические измерительные приборы с точки зрения теории информации, рассматривающей оптическую систему как информационный канал, который способен передавать строго фиксированное количество информации о параметрах контролируемой поверхности, то окажется, что применение волновых фронтов сложной структуры способно увеличить информационную составляющую всей системы. Так при сохранении полного числа степеней свободы волнового поля изображения, формируемого данной оптической системой, можно повысить разрешающую

способность за счет утраты некоторой части ее изображающих свойств. Применяя структурированное освещение предмета можно выиграть в разрешении его деталей, сокращая, например, общее поле зрения. Одними из примеров структурированного излучения являются оптические вихри, имеющие спиральные волновые фронты.

Для расширения функциональных возможностей МССОИ предлагается применить сложноструктурированные пучки, формирование которых становится возможным при использовании дифракционных оптических элементов (ДОЭ) со сложным профилем зон. Такие ДОЭ позволяют формировать лазерные пучки с распределением интенсивности в виде заданной кривой, причем при распространении поперечная структура этих пучков сохраняется с точностью до масштаба и вращения.

В первой части работы представлены результаты численных расчетов применения предлагаемого способа НК при отражении спирального оптического вихря от шероховатой поверхности. Далее выполнено экспериментальное исследование предлагаемого способа НК для определения параметров шероховатости и дефектации поверхностей деталей ВС. По результатам численного моделирования и экспериментального исследования с учетом реализации МССОИ представлено разработанное схемное решение и опытный образец устройства, реализующего предложенный способ НК.

В классическом исполнении МССОИ используется плоский волновой фронт, в разработанном способе НК применяется спиральный, сформированный за счет включения в оптическую систему фазового ДОЭ. Таким образом, информационная составляющая спекл-картины увеличивается за счет ввода дополнительных параметров зондирующего пучка: коэффициентом роста и шагом спирали тем самым повышается чувствительность и точность диагностической системы.

Принцип действия разработанного способа неразрушающего контроля заключается в следующем: при зондировании контролируемой поверхности спиральным пучком лазерного излучения часть рассеянного излучения фиксируется ПЗС-матрицей и передается в цифровом виде в виде спекл-картины на ЭВМ, где записывается в виде матрицы действительных значений интенсивности, затем производится корреляционный анализ спекл-картины, определяется интервал корреляции и ширина энергетического спектра поля, далее производится сравнение рассчитанного значения интервала корреляции спекл-картины (ширины энергетического спектра) с пороговым, принятым за эталон, и по результату сравнения принимается решение либо признать деталь годной, либо дефектной.

Для оценки адекватности разработанного способа НК было выполнено численное моделирование и экспериментальное исследование применения МССОИ с использованием спиральных вихревых волновых фронтов для оценки параметров шероховатости и дефектоскопического контроля поверхностей авиационных деталей. Результаты численного моделирования подтвердили, что с увеличением параметров шероховатости  $R_a$  и  $S_m$  интервал корреляции регистрируемых спекл-картин уменьшается. В ходе выполнения экспериментальной части разработанного способа НК было установлено, что результаты экспериментального исследования совпадают с результатами численного моделирования.

Оценка эффективности использования спиральных вихревых лазерных пучков по отношению к плоским определялась путем оценивания чувствительности и точности способа неразрушающего контроля. Установлено, что при использовании в качестве зондирующего спирального волнового фронта на участках измерения параметров шероховатости  $R_a < 0,3$  мкм можно повысить чувствительность классического метода

спекл-структур ~ на 40% , что позволяет расширить диапазон измерения параметров  $R_a$  и, тем самым, увеличить точность системы ~ на 10%, а при диагностике входной кромки лопатки АД на участках с забоинами, превышающими глубину  $\ell > 0,7$  мм, являющимися согласно нормативной документации промышленности критическими, наблюдается увеличение чувствительности системы ~ на 60%, что позволяет увеличить точность определения параметров дефектов ~ на 15%.

Результаты, полученные в ходе численного моделирования и экспериментальных исследований, а так же учет особенностей реализации МССОИ и наличие современной элементной базы оптоэлектроники позволили разработать и изготовить мобильный портативный прибор НК, позволяющий на высоком технологическом уровне проводить необходимый перечень работ по дефектации поверхностей авиационных деталей, как в производственных, так и в полевых условиях.