

## Анализ возможности применения IT-инструментов «машинного зрения», в части контроля деталей из композиционных материалов, при агрегатно-сборочном производстве

© Д. В. Раменский

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
г. Иркутск, Российская Федерация*

**Аннотация.** В связи с нарастающими темпами использования композиционных материалов в различных видах производств, остро встал вопрос быстрого и эффективного способа использования неразрушающего контроля, который, в свою очередь, будет отвечать всем необходимым и предъявляемым требованиям, а также обеспечивать значительное улучшение производственных процессов – увеличение скорости и эффективности производства, контроля изготовления продукции на всех этапах производства, сокращение количества дефектов, брака продукции, снижение трудоемкости и производственных затрат, убытков предприятия. В целях рассмотрения данной проблемы и разностороннего подхода проведен анализ применения различных видов современного контроля композиционных материалов, с использованием имеющихся на сегодняшний день IT-инструментов, что наглядно отражает перспективность и необходимость разработки и создания современных автоматизированных комплексов для контроля деталей из композиционных материалов, с применением следующих IT-технологий: «машинного зрения», «знания предприятия», «базы данных». Возможность внедрения на всех этапах контроля производства, от заготовки до готового изделия, а именно – крупногабаритных деталей из композиционных материалов, таких как панели крыла, интерцепторы вертикального и горизонтального оперения. Усовершенствование технологического процесса контроля.

**Ключевые слова:** «машинное зрение», композитные материалы, контроль, Иркутский национальный исследовательский технический университет, неразрушающий контроль, компьютерная рентгеновская томография, объект контроля

## Analysis of the possibility of using IT tools of "machine vision", in terms of control of parts made of composite materials, in aggregate and assembly production

© Dmitriy V. Ramenskiy

*Irkutsk National Research Technical University,  
Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** Due to the increasing rate of use of composite materials in completely different types of production, the question of using a faster and more efficient method of using non-destructive testing, which in turn will meet all the necessary and required requirements, as well as provide a significant improvement in production processes, is becoming more acute – increasing the speed and efficiency of production, controlling the production of products at all stages of production, reducing the number of defects, defective products, reducing labor intensity and production costs, losses of the enterprise. In order to consider this problem and a versatile approach, the article analyzes the use of various types of modern control of composite materials using currently available IT tools, which clearly reflects the prospects and expresses the need to develop and create modern automated complexes for controlling parts from composite materials using the following IT-technologies: "machine vision", "enterprise knowledge", "databases". The article considers the possibility of introducing the improvement of the technological control process at all stages of production control, from the workpiece to the finished product; namely, large-sized parts made of composite materials, such as wing panels, interceptors, vertical and horizontal empennage.

**Keywords:** machine vision, composite materials, control, Irkutsk National Research Technical University, non-destructive testing, computed tomography, object of control

В настоящее время в мире и в нашей стране, в связи с постоянно растущим темпом внедрения в различные виды произ-

водств, отраслей промышленности деталей, изготовленных из композиционных материалов, мною выявлена проблема – а точнее

«узкое место», где в связи с долгим и «многослойным» входным контролем агрегатов, изготовленных из композиционных материалов, полученных от поставщиков по производственной кооперации. Проведение входного, межоперационного контроля без применения элементов автоматизации, все более «утяжеляется» человеческим фактором, а это, в свою очередь, приводит к искусственному «затормаживанию» выдачи агрегатов, деталей из композиционных материалов в производство. И в результате выражается в постоянных негативных для производства в целом явлениях, таких как: переносы сроков производства, возникновение угрозы срыва графиков сборки, доработок изделия. В конечном итоге данная проблема выражается в виде несвоевременной передачи готового изделия заказчику, воздушного судна эксплуатанту, и как следствие – безоговорочно приводит к многомиллионным убыткам авиационных заводов-изготовителей.

Для решения данной проблемы и с целью поддержания высокого уровня контроля качества актуально провести анализ возможности применения IT-инструментов «машинного зрения» в части автоматизации контроля (дефектоскопии) при агрегатно-сборочном производстве агрегатов, деталей из композиционных материалов. Для этого необходимо обозначить ключевые параметры, к которым, в свою очередь, необходимо привести процесс автоматизированного контроля, а именно: высокую геометрическую точность, контроль поверхности, гибкость настройки системы, на требуемый контролируемый параметр изделия, низкую стоимость сканирования.

Применение композиционных материалов в ответственных деталях предъявляет очень жесткие требования по прочности, выносливости, усталости, ресурсу и ремонтпригодности изделия. Для выполнения предъявляемых условий требуется использовать высококачественные исходные материалы, соблюдать технологические процессы изготовления, применять современные методы неразрушающего контроля, позволяющие выявить имеющиеся внутренние дефекты, локализовать их положение и определить линейные геометрические размеры. Кроме то-

го, различными методами проводится послеоперационный неразрушающий контроль, в ходе которого определяются дефекты внутренней структуры, связанные с недостатками или несоблюдением параметров технологического процесса изготовления, нарушениями исходных компонентов композиционных материалов и т. д. В случае обнаружения дефектов различного вида проводится оценка их влияния на свойства изделия в целом и предлагаются соответствующие ремонтные мероприятия по восстановлению структуры композиционного материала и минимизации потерь несущих свойств конструкции [1].

На сегодняшний день для контроля композиционных материалов применяют следующие, так называемые, «традиционные методы», которые указаны в табл.

Согласно вышеизложенному сравнению, традиционные методы неразрушающего контроля дают возможность выявления основных видов дефектов внутренней структуры композита и его природы без позиционирования в объеме материала, что отражается путем получения 2D-картин и сканов [2].

Для решения анализируемой проблемы предлагается проект технологического решения в виде введения приемочного, межоперационного, окончательного контроля агрегатов, деталей из композиционных материалов, по нижеприведенным процедурам.

Контроль деталей, агрегатов на соответствие требованиям технической, конструкторской документации, а именно, проверка шероховатости, геометрических размеров, отклонение геометрии поверхности от теоретического профиля, с помощью неразрушающего лазерного метода контроля, измерение толщины изделия с помощью ультразвукового толщиномера, проверка качества поверхностного слоя с помощью неразрушающего контроля в виде теплового метода (метод термографии) [3].

При внедрении в технологический процесс контроля «машинного зрения» выполняются следующие операции, обеспечивающие автоматизацию контроля качества продукции в промышленности: захват изображения объекта с дополнительно установленных камер, которые будут использоваться в соответствии с технологическим процессом и

Таблица. Анализ методов контроля деталей из композиционных материалов

Наименование	Преимущества	Недостатки
Оптический метод	Легко осваиваемое для использования оборудование, большая область применения, экономия времени и средств при проведении контроля	Малая глубина обнаружения и точность размеров выявляемых дефектов
Акустические методы		
– импедансный	Доступность и простота приборов, контроль сотовых трехслойных конструкций, многослойных с наполнителем	Низкая точность измерений, результаты варьируются от чистоты и шероховатости поверхности, залегание дефектов на малой глубине
– велосимметрический	Применяется при контроле протяженных поверхностей в ходе технологического процесса, отслеживание его состояния и при наличии переходных тепловых режимов	Уникальные помехи, отражаются в виде неоднородностей коэффициента излучения тепловой волны, низкая точность выявления размеров и формы дефектов
Тепловой метод	Имеет те же преимущества, что и акустический велосимметрический метод	Имеет те же недостатки, что и акустический велосимметрический метод
Радиоволновой метод	Определение степени полимеризации связующего, определение влаги, большой диапазон длин волн излучения, разбор состояния матрицы, внутренней структуры	Невозможно определить состояние внутренней структуры образца, для не радиопрозрачных материалов
Радиационный метод	Наличие контроля состояния армирующей структуры, высокая четкость 2D-изображений, небольшие размеры установки для контроля	Проблема обеспечения двухстороннего подхода, относительно низкая производительность, высокая стоимость компонентов, оказывает негативное влияние на здоровье специалистов проводимого контроля

определять размеры объекта контроля, размеры дефектов. Кроме того, с помощью интеллектуального программного обеспечения дополняет возможность распознавания изображений объектов, их сопоставление с соответствующим описанием в базе знаний, последующий анализ и обработка. Возврат, обмен полученных данных в том виде, в котором он будет наиболее информативен и удобен оператору. После завершения работы в приложении возможно создание отчета о проведенном контроле детали и полученных результатах, необходимого для принятия решения о дальнейшем движении детали по производственному циклу.

Приведем наглядный пример, по итогам полученных результатов контроля, анализа и обработки изображений, на предмет выявления внешних повреждений, делается вывод о годности продукции, а в случае обнаружения дефектов – оценка их размеров и классификация на основе соответствующего описания в базе знаний предприятия. Явное преимущество введения «машинного зрения» выражается в том, что происходит автоматически интеллектуальная обработка изображений в реальном времени. Следовательно, необходимые для проведения контроля качества

операции можно проводить как на статичных изображениях, полученных не только с одного места проведения контроля, так и анализ, аудит результатов контроля. Более того, это возможно делать на живом потоке видеоканалов при проведении контроля детали [4].

Постепенное знакомство и внедрение автоматизированного «машинного зрения» для авиационной и аэрокосмической промышленности сегодня является уже положительной тенденцией, для дальнейшего роста данных предприятий, в информационном, индустриальном плане. Автоматизация приводит к тому, что для конкретного вида деталей и агрегатов из композиционных материалов требуется разработка специализированных решений. В вышеуказанных видах промышленности очень сложно оптимизировать, т. е. «типизировать» процесс контроля с помощью традиционных, стандартных систем. Данные решения не вписываются в типовые технологические процессы [5].

Предлагаемый, перспективный метод контроля деталей из композиционных материалов – метод активной термографии, при дополненном рядом видеоканалов с интеллектуальным программным обеспечением «машинного зрения» (рис. 1).



Рис. 1. Схема контроля методом «машинного зрения» активной термографии

По состоянию на 2022 год сравнительно похожий метод «машинного зрения» успешно используется предприятиями, изготавливающими и/или эксплуатирующими детали, агрегаты из композиционных материалов. Это такие крупные игроки мировой авиакосмической промышленности как Boeing и Airbus, в свою очередь они с особой долей ответственности уделяют особое внимание данному методу контроля, включив его в свои стандарты предприятия, описывающие процедуру неразрушающего контроля отсеков фюзеляжа, сотовых панелей крыла, элементов горизонтального и вертикального оперения [6]. Вышеуказанный метод контроля требует регулируемой тепловой нагрузки на объект контроля, но в тоже время не требует контакта непосредственно с объектом контроля ни для нагрузки, ни для получения отклика [7].

Кроме того, согласно национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р 56787-2015<sup>1</sup>, посвященный неразрушающему контролю композиционных материалов, рекомендует метод «машинного зрения» активной термографии для выявления следующих дефектов:

- расслоение, изменение плотности;
- разрушение связей между волокнами;
- разрывы, ненужные включения;
- влага, пористость, пустоты, изменение толщины.

Из преимуществ данного метода можно выделить следующее:

- очень высокая производительность (в 5 раз быстрее, чем акустический контроль или радиационный контроль);
- односторонний подход;
- безопасность использования для жизни и здоровья специалистов предприятия;
- большой охват возможных к контролю композиционных материалов;
- широкое разнообразие решаемых при применении контроля задач.

Из недостатков возможно выделить следующие:

- обеспечение равномерного нагрева поверхности;
- высокие требования к чистоте и поверхности контролируемой детали, несоблюдение которых может обеспечить помехи и усложнить анализ результатов;
- резкое затухание тепловой волны с глубиной, поэтому толщина контролируемого слоя ограничивается 10 мм [8].

Также к преимуществу данного метода контроля хотелось бы отнести то, что имеются широкие возможности выбора из многообразия технических реализаций подходов к генерации теплового возбуждения (тепловой стимуляции) на контролируемый объект, от галогеновой лампы до Гауссовского импульса [9]. Кроме того, необходимо понимать, что процедура проведения эффективного контроля данным методом будет невозможна

<sup>1</sup> ГОСТ Р 56787-2015. С. 9.

без применения интеллектуального программного обеспечения, обрабатывающего инфракрасные изображения объекта контроля.

На основании вышеуказанных доводов прихожу к выводу, что применение в производстве систем «машинного зрения», программно реализующих автоматическое выполнение операций для контроля качества продукции, жизненно необходимо на всех этапах контроля предприятия. Это вызвано все более ужесточающимися требованиями к соответствию выпускаемых товаров стандар-

там качества и неудобством, несовременностью процедуры неразрушающего контроля, проводимого «вручную» [10]. Предлагаемая к внедрению IT-технология «машинного зрения» за счет автоматизации обеспечивает рост производительности труда и, соответственно, увеличение скорости и качества производства выпускаемой продукции, готовых изделий. Использование интеллектуального программного обеспечения, входящего в одну систему «машинного зрения», гарантирует отсутствие в результате работы ошибок, обусловленных «человеческим фактором».

#### Список источников

1. Трифонова С. И., Генералов А. С., Далин М. А. Современные технологии и средства теневого ультразвукового контроля полимерных композиционных материалов // В мире неразрушающего контроля. 2016. Т. 19. № 1. С. 31–35.
2. Белов А. А., Иванов Ю. Д., Шестаков А. А., Царева С. Г., Черницов Н. С. Современные методы диагностики объектов из композиционных материалов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 1. С. 56–59.
3. Котовщиков И. О. Применение программных алгоритмов обработки изображений, полученных в ходе контроля изделий из композиционных материалов методом активной термографии // ТестМат. Основные тенденции, направления и перспективы развития методов неразрушающего контроля в аэрокосмической отрасли: материалы X Всероссийской конференции (Москва, 9 февраля 2018 г.). Москва: Изд-во «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», 2018. С. 119–129.
4. Иванов Д. А., Петрова Т. В., Давыдов И. А. Композиционные материалы в современной авиации, использование и контроль за их состоянием в эксплуатации // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2019. № 4(25). С. 108–121.
5. Исмагилов Ф. Р., Вавилов В. Е., Саяхов И. Ф. К вопросу применения композиционных материалов в электрических машинах // Новое в российской электроэнергетике. 2018. № 9. С. 17–32.
6. Ларченко А. Г., Белых А. П., Филиппенко Н. Г., Баканин Д. В. Прибор и метод теплового воздействия для контроля и изучения физико-механических характеристик полимерных композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2021. № 3(51). С. 40–45.
7. Исмагилов Ф. Р., Вавалов В. Е., Саяхов И. Ф., Нургалеева Р. А. Оценка эффективности полностью композиционных электрических машин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2018. Т. 61. № 4. С. 32–39.
8. Потапов А. И. Неразрушающий контроль структурно-неоднородных композиционных материалов методом годографа скорости упругих волн // Дефектоскопия. 2019. № 6. С. 11–19.
9. Котовщиков И. О. Автоматизированный комплекс неразрушающего контроля лопастей из композиционных материалов // Композитный мир. 2020. № 4(91). С. 46–50.
10. Воротников В. С. Автоматизация и управление процессом измерения и контроля производительности средств обработки и передачи информации. Москва: МИЭТ, 2016. 22 с.

#### Информация об авторе / Information about the Author

**Дмитрий Владимирович Раменский**,  
студент группы ТаСМ-20-1,  
Институт авиационного машиностроения и транспорта,  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет,  
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,  
Российская Федерация,  
ramdb@yandex.ru

**Dmitriy V. Ramenskiy**,  
Student,  
Institute of Aircraft Engineering and Transport,  
Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,  
Russian Federation,  
ramdb@yandex.ru