

**Котовщиков И. О.**

Инженер разработчик-исследователь  
ООО «Локус»

# Автоматизированный комплекс неразрушающего контроля лопастей из композиционных материалов

## Список литературы

1. Kotovshchikov I. O. Active thermography as a contemporary method for ensuring the quality of composite material products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2019. — Vol. 683, No. 1. — pp. 012076. — DOI:10.1088/1757-899X/683/1/012076
2. Котовщиков И. О. Современные мобильные системы неразрушающего контроля изделий из композитных материалов // Композитный мир. — 2018. — № 6 (81). — С. 54–56.
3. Будадин О. Н., Вавилов В. П., Абрамова Е. В. Тепловой контроль / Учебное пособие для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике. — М.: ИД «Спектр», 2011. — 171 с.

Лопастей рулевого винта являются ответственными деталями вертолёта, качество которых определяет безопасность эксплуатации всего транспортного средства в целом. Поэтому очень важен комплексный подход в обеспечении неразрушающего контроля (НК) качества вертолётных лопастей как при их изготовлении, так и в процессе эксплуатации. Компанией ООО «Локус» разработано комплексное автоматизированное решение для НК лопастей рулевого винта, выполненных из композиционных материалов. Данный комплекс состоит из автоматизированной системы поиска внутренних дефектов методом активной термографии «ЛокоТерм» и автоматизированной системы лазерного измерения геометрических параметров лопасти «Геометра».

### Система «ЛокоТерм»

В процессе изготовления лопасти могут возникнуть такие внутренние дефекты, как непроклей, отслоение обшивки, расслоение, пустоты, дефекты нагревательной накладки и так далее. Особенности изделий из композиционных материалов накладывают ограничения на выбор эффективно выявляющего требуемые дефекты метода НК. Для изделий с конфигурацией вертолётных лопастей наиболее эффективным и перспективным методом НК оказался метод активной термографии [1–3].

Специально для поиска характерных внутренних дефектов в вертолётных лопастях компанией ООО «Локус» разработана автоматизированная система дефектоскопии методом активной термографии — «ЛокоТерм» (рисунок 1).

Данная система обладает следующими ключевыми особенностями:

- высокая производительность;
- возможность контроля изделий со сложной геометрией;
- простая интерпретация результатов контроля;
- использование бесконтактного метода;
- выявление внутренних и поверхностных дефектов;
- не требует использования контактной жидкости;
- метод не требует предварительной подготовки изделия.

Метод активной термографии, реализованный в системе «ЛокоТерм», основан на регистрации изменения температуры объекта контроля (ОК) в условиях внешнего теплового возбуждения. Блок активной термографии (или термограф) нагревает поверхность ОК с помощью встроенных галогенных ламп. Инфракрасная (ИК) камера системы регистрирует динамику температуры поверхности ОК в виде последовательности её ИК изображений (термограмм). Далее, с помощью специального программного обеспечения (ПО), установленного на компьютере пульта управления, полученная информация о динамике температуры обрабатывается программными алгоритмами. Обработанные термограммы анализируются специалистом с помощью программных инструментов на соответствие выявленных неоднородностей теплового отклика дефектам. Итоговые цифровые термограммы вместе с заключением специалиста архивируются в виде протоколов на компьютере пульта управления и в базе данных предприятия.

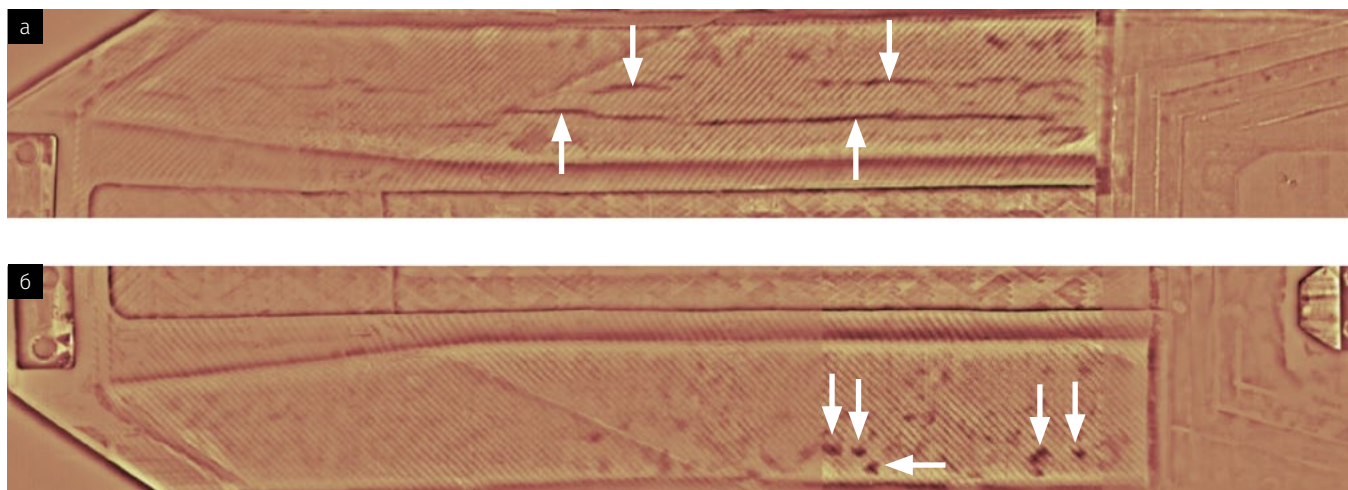
В системе реализованы режимы ручного выбора

**Рисунок 1.**

Общий вид автоматизированной системы «ЛокоТерм»:

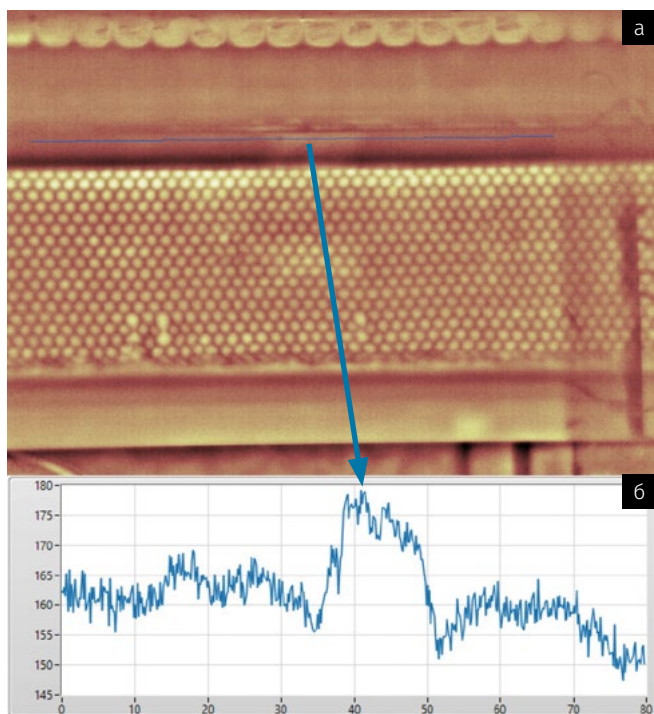
- 1 — пульт управления системой;
- 2 — опорная рама с двумя моторизированными осями;
- 3 — область контроля;
- 4 — термограф





**Рисунок 2.** Термограммы вертолётной лопасти на основе углепластика:

а — термограмма с выявленными протяжёнными отслоениями; б — термограмма с выявленными локальными пустотами (порами)



**Рисунок 3.** Термограммы вертолётной лопасти с хвостовым отсеком, выполненным из композитной сотовой панели на основе стеклопластика:

а — хвостовой отсек лопасти; б — носовая часть лопасти

контролируемого участка, автоматизированного пошагового сканирования всей лопасти, а также отдельный режим для контроля качества нагревательной наклейки, находящейся внутри лопасти. Оператор выбирает параметры контроля в соответствии с конфигурацией контролируемого изделия. Инженер (пользователь, с более высоким уровнем допуска) создает режимы контроля, которые в дальнейшем выбирает оператор, и задает критерии дефектности.

На рисунке 2 приведены термограммы лопасти с хвостовым отсеком, выполненным из сферопласта с углепластиковой обшивкой. В данной лопасти выявлены дефекты типа отслоения обшивки и локальных пустот наполнителя. На данном рисунке дефекты являются более тёмными участками термограммы.

На рисунке 3 приведён пример выявления дефекта типа непрочной склейки лонжерона с хвостовым отсеком, выполненным из стеклопластика. Под термограммой приведён график изменения температуры вдоль синей линии, проведенной на термограмме рисунка 3. На данном изображении дефект отображается более светлым участком термограммы, как следствие, ему соответствует характерный всплеск яркости на приведённом графике.

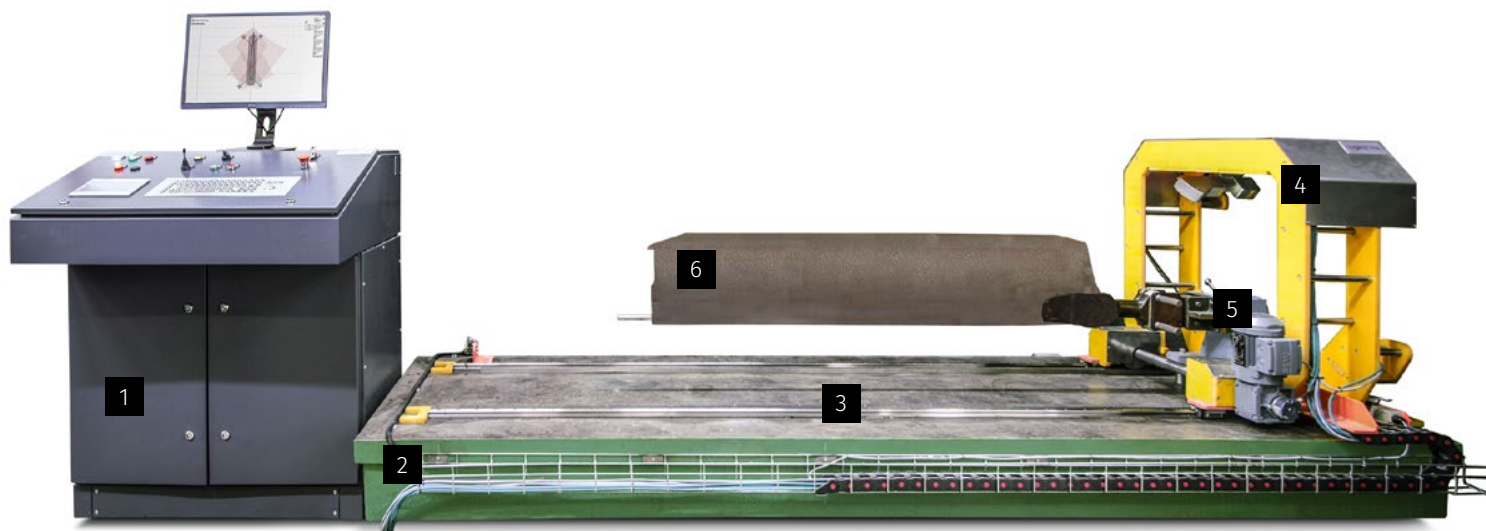
Достоверность контроля системой «ЛокоТерм» была подтверждена другими методами НК и распилом образцов в месте дефекта.

### Система «Геометра»

В процессе эксплуатации вертолётной лопасти подвергаются высокой нагрузке, распределение которой строго задано и обеспечивается геометрией лопасти. В связи с этим отклонение некоторых геометрических параметров более чем на  $\pm 2$  мм является недопустимым, а лопасти с такими отклонениями являются бракованными. Для высокоэффективного контроля геометрических параметров вертолётных лопастей, компанией ООО «Локус» разработана система «Геометра» (рисунок 4).

Система «Геометра» позволяет измерять такие геометрические параметры, как ширина лопасти по хорде, угол крутки, отклонение хвостового отсека от номинального положения, увод оси лопасти, кривизна стрингера и так далее. Данная система обладает следующими ключевыми особенностями:

- измерение геометрических параметров лопасти бесконтактным способом;
- возможность контроля изделий со сложной геометрией;
- возможность прямого измерения угловых параметров;
- повышенная точность измерения;
- исключение влияния человеческого фактора на результат контроля;
- повышенная скорость измерения.



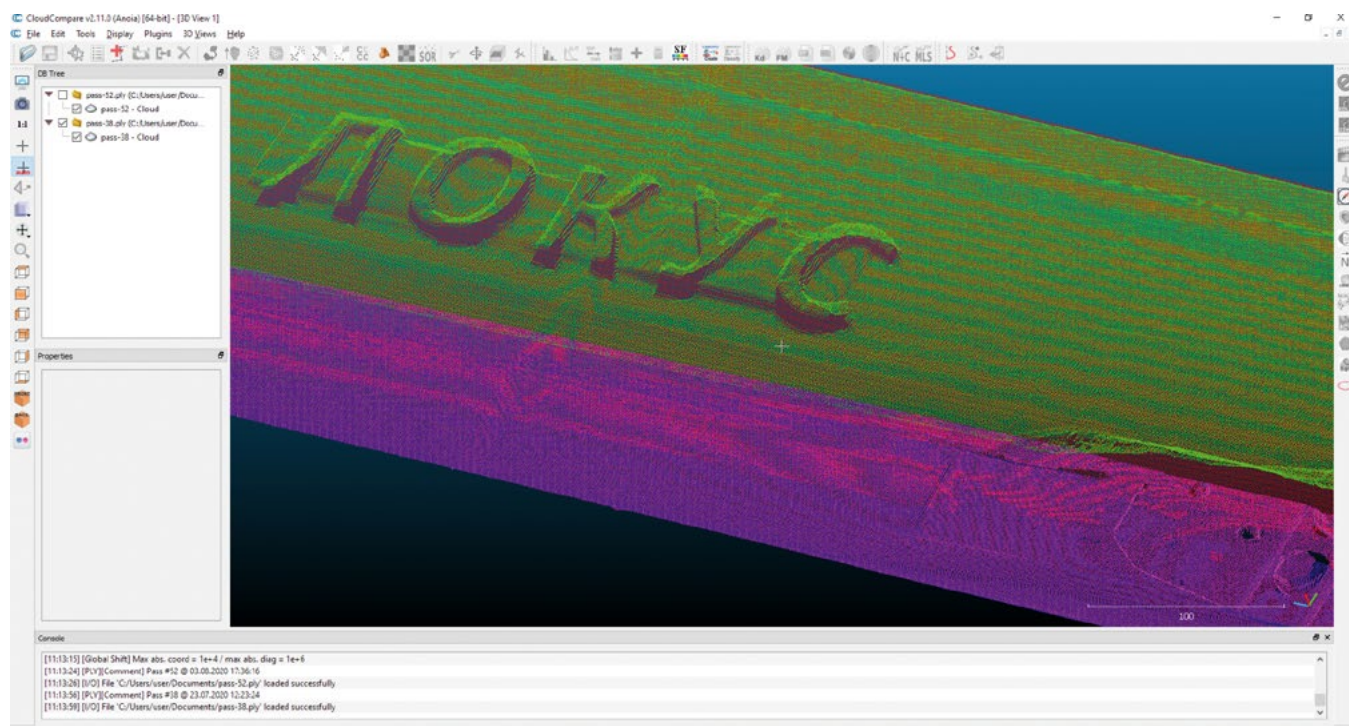
**Рисунок 4.** Общий вид системы контроля геометрических параметров лопасти:

1 — пульт управления системой; 2 — контрольная плита (опора системы); 3 — рельсовый механизм перемещения рамки; 4 — моторизированная рамка с лазерными сканерами; 5 — устройство консольного крепления лопасти; 6 — объект контроля

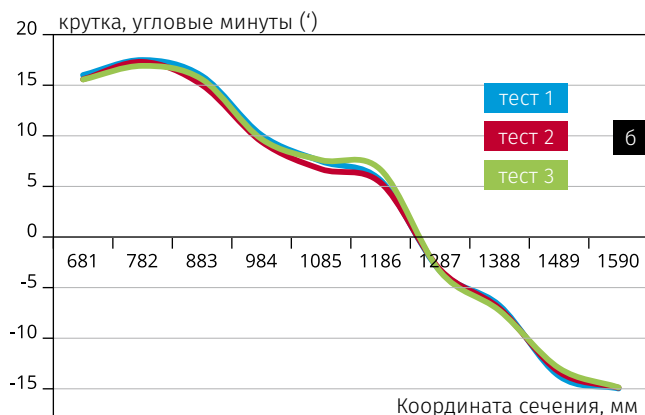
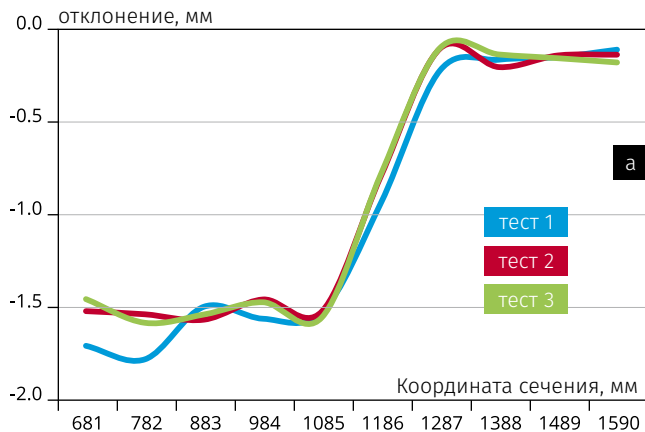
Процесс контроля лопасти системой «Геометра» представляет собой равномерное непрерывное сканирование лопасти, консольно зафиксированной в положении «носиком вниз». Лазерные 2D-сканеры, расположенные по периметру рамки, позволяют строить профили лопасти в заданных сечениях. Специальное ПО «Ассистер» преобразует данные со сканеров в искомые геометрические параметры лопасти и объединяет кривые в единый профиль сечения лопасти. По окончании процесса сканирования программа формирует 3D-модель проконтролированной лопасти из полученных 2D-сечений, как показано на рисунке 5.

Для того чтобы оценить достоверность результатов измерения геометрических параметров с помощью системы «Геометра», были проанализированы результаты измерений параметров угла крутки и отклонения хвостового отсека лопасти.

Достоверность результатов измерений определяется повторяемостью (воспроизводимостью) значений измеряемых геометрических параметров для одних и тех же сечений лопасти. На рисунке 6 приведены графики значений отклонения хвостового отсека и угла крутки, полученные в ходе нескольких сканирований одной и той же лопасти.



**Рисунок 5.** Участок 3D-модели лопасти с накладкой в виде букв толщиной порядка 2 мм



**Рисунок 6.** Динамика измеряемых геометрических параметров лопасти вдоль оси сканирования, по результатам трёх тестовых сканов: а — динамика значений отклонения хвостового отсека; б — динамика значений угла крутки

На графиках, приведённых на рисунке 6, виден общий характер динамики измеряемых геометрических параметров в рамках проведённых тестовых сканирований. Резкий рост значений отклонения хвостового отсека в диапазоне координат от 1100 до 1300 мм соответствует технологически заложенным особенностям лопасти (то есть отражает действительность).

Статистический анализ полученных значений геометрических параметров показал, что система «Геометра» позволяет измерять линейные геометрические параметры лопасти со средней повторяемостью  $\pm 0,056$  мм и угловые геометрические параметры лопасти со средней повторяемостью  $\pm 0,3'$ .

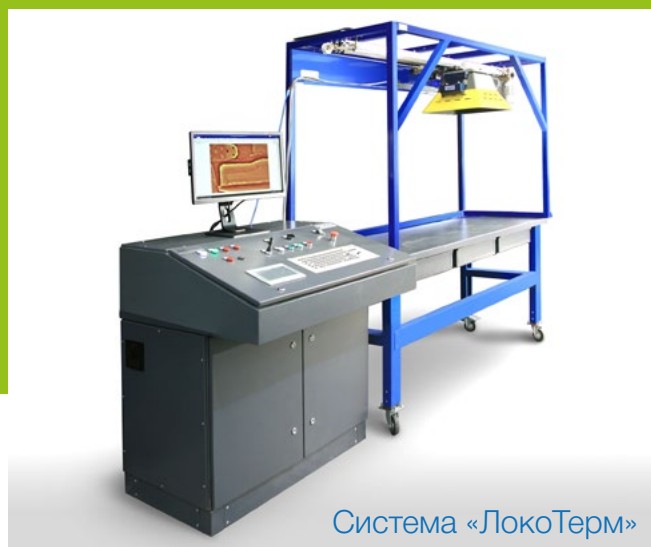
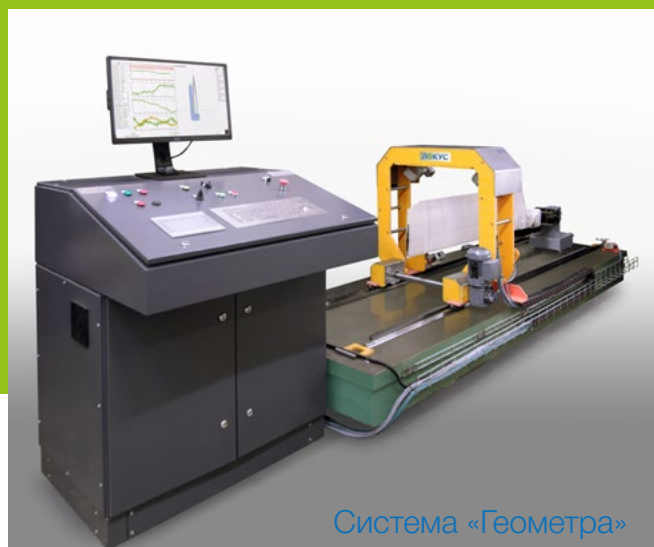
### Заключение

Компанией ООО «Локус» разработано высокоэффективное комплексное автоматизированное решение для НК лопастей, выполненных из композиционных материалов. Система дефектоскопии методом активной термографии «ЛокоТерм» обеспечивает достоверное выявление внутренних дефектов, характерных для композитной структуры вертолётных лопастей. Система измерения геометрических параметров лопасти «Геометра» позволяет контролировать отклонения ключевых геометрических параметров с повторяемостью  $\pm 0,056$  мм для линейных параметров и  $\pm 0,3'$  для угловых параметров.

Внедрение разработанного комплекса НК позволит повысить производительность контроля и достоверность его результатов. **КМ**

# Оборудование для автоматизированного контроля композитных изделий

Измерение геометрических параметров, термографический контроль



- Высокая производительность контроля
- Контроль изделий со сложной геометрией
- Контроль и измерения бесконтактным способом
- Повышение точности и скорости измерений
- Исключение влияния человеческого фактора