

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВИЗОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Редченко В.О.

ГАОУ ТО «ФМШ», 9 класс

Руководитель: Тарасов О.А., ГАОУ ТО «ФМШ», учитель технологии, к.ф.-м.н, доцент

Ознакомившись с современной литературой [1–3], мы поняли, что композиционные материалы имеют широкое применение в авиационной промышленности. Режим эксплуатации самолетов подразумевает их быструю диагностику во время стоянки. Из-за особой структуры композиционных материалов, тепловизионный способ их диагностики наиболее приемлем.

Тепловизионная диагностика композиционных материалов – это сложная техническая задача, требующая разработки специального программного обеспечения, по сложности сопоставимого с УЗИ и томографией [4–5]. С другой стороны физические принципы распространения тепла в материалах и в измерении тепловых полей одинаковы, как в композиционных, так и в простых материалах. Поэтому для экспериментов мы самостоятельно изготовили композиционный материал из кусков металлической сетки в объеме воска, чтобы убедиться, что с помощью тепловизора возможно диагностировать внутренние дефекты материалов, и чтобы определить чувствительность подобного способа.

Цель исследования – оценить возможности диагностического тепловизора для определения дефектов композитных материалов.

Задачи исследования:

1) Рассмотреть композиционные материалы, используемые в авиационной

Ход работы:

и космической промышленности и их свойства.

2) Рассмотреть технологию производства композиционных материалов.

3) Провести эксперимент по бесконтактной диагностике этих материалов.

Объект исследования – композиционные материалы.

Предмет исследования – тепловизионная диагностика дефектов композиционных материалов.

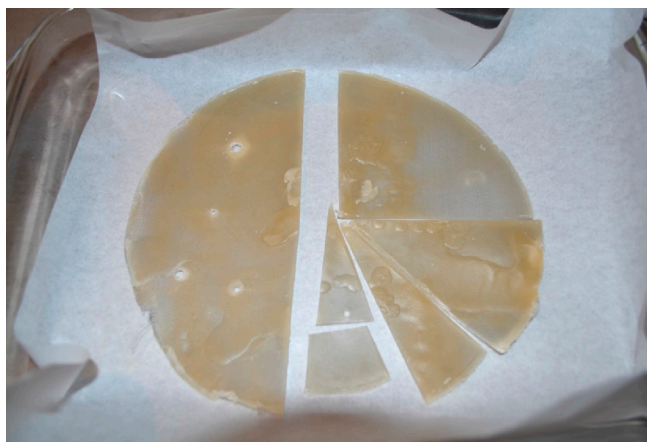
Гипотеза – приступая к работе, мы предположили, что, зная состав композиционного материала и технологию его производства, можно диагностировать существующий композиционный материал на наличие/отсутствие внутренних (скрытых) дефектов с помощью простого диагностического тепловизора.

Практическая часть

Тема: Проверка видимости тепловизором дефектов композиционного материала (металлической сетки залитой воском).

ЦЕЛЬ: Увидеть повреждения на заготовке из металлической сетки и воска.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ: (1) тепловизор TESTO-871, (2) нагревающая лампа – галогеновый прожектор мощностью 500 Вт, (3) металлическая сетка из сита, (4) воск из свечей.



Металлическая сетка была залита воском и разрезана. Кроме того, в нескольких местах сетку просверлили



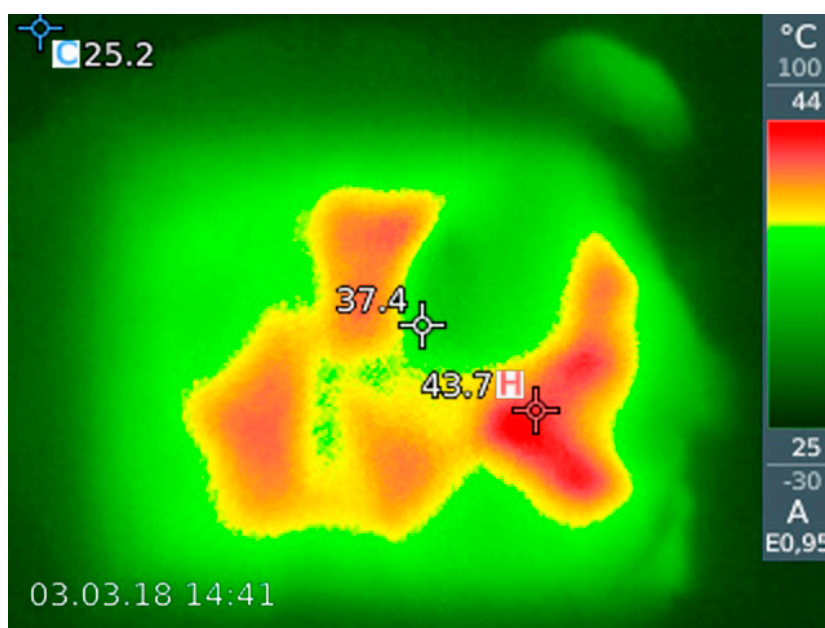
Поврежденную таким образом сетку залили более толстым слоем воска и получили образец композитного материала для испытаний



Прожектор, используемый для бесконтактного и достаточно равномерного нагрева образца композитного материала



Металлическо-восковой композит во время нагрева прожектором



Внутренняя структура композита, проявившаяся по неоднородности его теплового поля на 7 минуте нагрева прожектором

На термограмме синий и красный маркеры с перекрестьем указывает на точки с минимальной и максимальной температурами в кадре, соответственно, а белый маркер – на температуру в центре кадра. Внизу слева дано время съемки, а справа впечатывается шкала-палитра с выбранным коэффициентом излучения материала.

Отчетливо видны треугольные куски металлической сетки и параллельные промежутки между ними. Вследствие того, что нагрев образца прожектором был больше в центральной части (вблизи лампы), а на тепловизионной картине различные температуры визуализированы ограниченным набором цветов палитры, в кадре тепловизора оказались видны только центральные части кусков сеток. Продолжение этих частей сеток (их периферия) потерялось в «зеленой» области палитры с более низкими температурами.

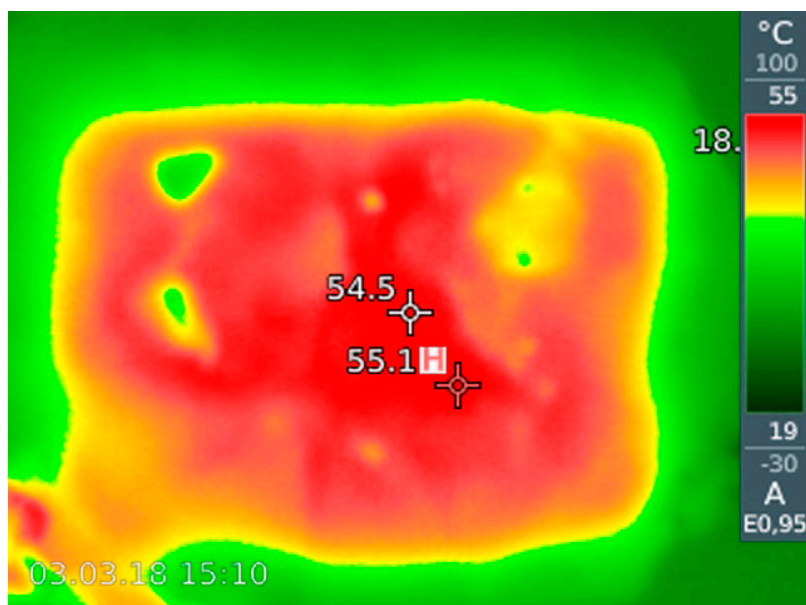
Данный результат говорит о том, что с помощью тепловизора можно достоверно диагностировать внутренние дефекты композитных материалов, но размер диагностируемой области не может превышать размер области равномерного нагрева. С другой стороны, если нужно увидеть дефект в малой заданной области, то достаточно нагре-

вать только ее, при этом она будет видна, а соседние дефекты не будут мешать в процессе визуализации.

Более детально (покадрово) процесс тепловизионного выявления внутренней структуры композитного материала показан в Приложении 5.

Образец композитного материала (после выявления его внутренней структуры) положили остывать на холодную керамическую плитку пола. Несмотря на то, что теплопроводности металлической сетки и объема воска различны, благодаря тому, что сетка была тонкой, чем слой воска, решающий вклад во время остывания области оказывала неравномерность толщины слоя воска. Чем больше была толщина воска в данной области образца, тем медленнее она остывала, т.е. тем выше была ее температура в заданный момент наблюдения, по сравнению с более тонкими областями воска.

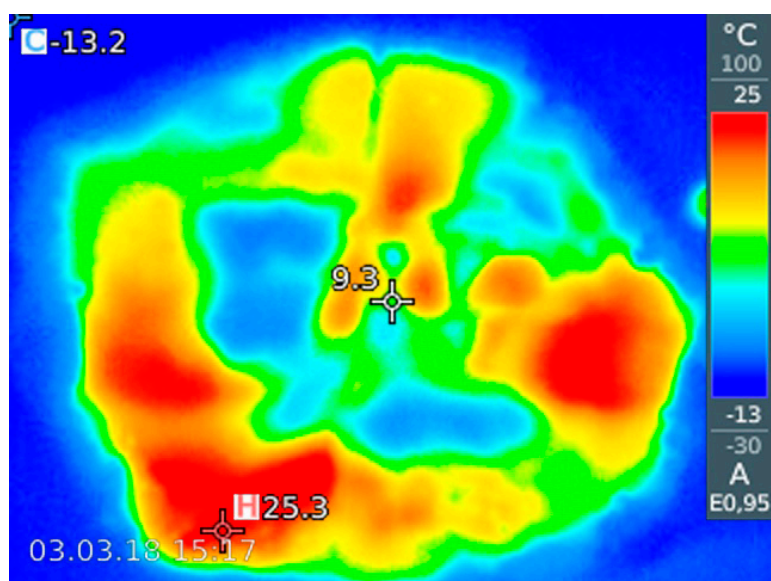
Этот факт позволил по неоднородности теплового поля образца во время остывания судить о профиле его толщины. Причем визуальные и тепловизионные картины хорошо соответствовали друг другу. Покадрово термограммы остывания образца на полу даны в Приложении 6.



Неоднородность теплового поля образца на 1-й минуте остывания, связанная с неоднородностью толщины слоя воска. «Зеленые дыры» в тепловой картине соответствуют местам проплавления воска до сетки при его прогреве прожектором. Красные области – самые толстые слои воска.

После того, как образец остыл до комнатной температуры (точнее температуры пола), его реши испытать воздействию пониженных температур. Для этого вынесли его на улицу (температура около -15°C) и положили горизонтально на предварительно выровненный слой свежего снега.

Термограммы остывания композита на снегу оказалась чрезвычайно неоднородной и зависящей главным образом от точек теплового контакта образца и слоя снега. По данной термограмме невозможно сделать вывод о внутреннем строении композитного образца или его толщине, но зато хорошо видны места его теплового контакта с нижележащим слоем, что тоже может быть важно в диагностике дефектов, например в обнаружении отслоения композита от нижележащего слоя (вследствие разрушения клеевой основы или деформации основы). Термограммы остывания образца на снегу даны в Приложении 7.



Термограмма 1-й минуты остывания композита, лежащего на слое снега. Видна сильная неоднородность теплового поля, которая никак не связана с внутренним строением материала и его толщиной, а определяется точками его контакта с более холодным снегом.

Полученный результат говорит о том, что с помощью тепловизора можно определять не только внутреннее строение композита и профиль его толщины, но и качество его контакта с нижележащим основанием.

Заключение

Современная авиационная промышленность не мыслима без композиционных материалов и требуется постоянная диагностика дефектов частей летательных аппаратов без их разборки

Экспериментальные исследования с образцом из композитного материала (части тонкой металлической сетки, залитые в объеме воска) дали неожиданно много результатов.

Во-первых, при бесконтактном нагреве образца была уверенно выявлена его внутренняя структура (на термограммах были видны части сетки) в области однородного нагрева. Это говорит о том, что тепловидение в сочетании с однородным нагревом позволяет исследовать внутреннюю структуру композитных материалов, в том числе и их дефекты.

Во-вторых, при остывании образца, лежащего на ровной поверхности (образец внизу тоже был ровным, т.к. его получали при плавлении воска на ровной поверхности), хорошо появилась неоднородность его толщины, т.к. участки с большей толщиной слоя медленнее остывали и из-за этого имели большую температуру. Это говорит о том, что техника тепловидения позволяет выявить неоднородность толщины композитного материала, при условии, что тепловой контакт его противоположной стороны с окружающей средой однородный.

В-третьих, при остывании образца, лежащего на неровной поверхности, неоднородный контакт противоположной стороны образца тут же был выявлен тепловизором по неоднородности теплового поля. Это говорит о том, что тепловидение позволяет выявлять дефекты контакта композитного материала с нижележащим слоем.

Таким образом, мы опытным путем установили, что с помощью недорогого диагностического тепловизора (на примере Testo 871, 70 тыс. руб.) можно определять не только внутреннее строение композита и профиль его толщины, но и качество его контакта с нижележащим основанием,

а также оценивать геометрические размеры дефекта (его толщину или ширину).

Данная возможность будет удобна для первичного обнаружения дефектов авиационной техники, поскольку техника тепловидения позволяет сразу получать изображения больших площадей поверхности (порядка 1 м²), в отличие от токовых и ультразвуковых методов [6, 7], работающих локально, от точки к точке, и поэтому медленных в режиме поиска, но позволяющих проводить точные измерения. Таким образом, для сокращения времени диагностических работ (ускорения поиска дефектов) и повышения их качества (100 % охват поверхности) целесообразно использовать сначала термографическую систему, а затем на найденных дефектах – точные классические способы.

Исследование проведено в рамках серии совместных проектных работ Физико-математической школы Тюменской области и Открытого акционерного общества «ЮТэйр-Инжиниринг», направленных на повышение скорости и точности неразрушающей дефектоскопии деталей и узлов летной техники (Приложения 1–4). Научно-техническое сотрудничество с ведущей российской авиационно-технической базой вертолетов запланировано на длительной основе с учетом реальных проблем эксплуатации винтокрылой техники в условиях Западной Сибири. Будут использованы уникальные стенды для испытаний агрегатов и их узлов «ЮТэйр-Инжиниринг» и исследовательское оборудование нашей школы.

Авиаремонтный комплекс АО «ЮТэйр-Инжиниринг» является единственным в России предприятием, предоставляющим полный комплекс услуг по ремонту и техническому обслуживанию вертолетов отечественного и зарубежного производства: от полной разборки вертолета и комплектующих до сборки, покраски, наземных и летных испытаний. Специалисты предприятия ежегодно выполняют техническое обслуживание свыше 300 вертолетов всей линейки семейства Миль, Ка-32Т, самолетов АН-2, их систем и агрегатов, а также вертолетов зарубежного производства: Airbus Helicopters, Robinson R-44, AW139. Мировой лидер по техобслуживанию вертолетов ОКБ Миля.

Список литературы

1. Виды и применение композитных материалов (24.01.2018). – <https://pcgroup.ru/blog/vidy-i-primeneniye-kompozitnykh-materialov/>.
2. «Композитные материалы – это будущее авиации». Глава компании «Аэрокомпозит» Анатолий Гайданский – в интервью «Б FM» (24.06.2017). <https://www.kommersant.ru/doc/3366063>.

3. Зимбацкий А.В., Стасюк Ю.В. Применение композиционных материалов в современном авиастроении, контроль за их состоянием в эксплуатации // Научный Вестник МГТУ ГА № 208. <http://avia.mstuca.ru/jour/article/download/333/259>.

4. Морозов Г.А. Развитие методов неразрушающего контроля в авиации // Контроль. Диагностика. – 2002. – № 7. – С. 3–8.

5. Вавилов В.П., Климов А.Г., Тепловизоры и их применения. – М.: Интел универсал. 2002. – 88 с.

6. Неразрушающий контроль: Справочник. В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль / В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.

7. Методы неразрушающего контроля. Неразрушающие методы контроля материалов и изделий [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / Н.В. Кашубский, А.А. Сельский, А.Ю. Смолин и др. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.

Приложение 1

Письмо директору «ЮТэйр-Инжиниринг»

Генеральному директору Акционерного общества «ЮТэйр-Инжиниринг» Фараджаеву Рашиду Гусейновичу директор государственного автономного общеобразовательного учреждения Тюменской области «Физико-математическая школа» Фомичевой Натальи Александровны

Уважаемый Рашид Гусейнович,

Просим Вас содействовать в проведение проектно-исследовательских работ, направленных на повышение скорости и точности неразрушающей дефектоскопии деталей и узлов летной техники, а также повышения безопасности полетов в условиях Западной Сибири, проводимых учениками нашей школы, а именно разрешить:

1) Сопоставить результаты нашей термографической системы и метрологического оборудования вашей организации путем проведения совместных дефектоскопических исследований на реальных объектах – летательных аппаратах и их частях.

2) Сопоставить результаты классических макро-методов измерения твердости на вашем оборудовании и с помощью нашего метода на нано-масштабе на реальных деталях летательных аппаратов.

3) Сопоставить результаты, даваемые по износу двигателей классическим рентгеновским анализатором вашего метрологического центра и нашим наномикроскопом, для чего провести совместные исследования проб масла из двигателей и узлов трансмиссии вертолетов.

4) Измерить тепловые поля от вертолетов на разном расстоянии и в разных погодных условиях, чтобы понять пределы обнаружения в тепловизор вертолета, летящего на встречном курсе.

5) Измерить тепловые поля от источников инфракрасного излучения в условиях снежной пелены, поднятой вертолетом, чтобы оценить возможность ориентировки пилота вертолета в тепловизор по тепловым наземным источникам при посадке на заснеженных площадках.

6) При выполнении проектов по пп.1,3–5 на территории предприятия присутствие руководителя проектов со стороны ФМШ – к.ф.-м.н. Тарасова Олега Александровича и учеников ФМШ.

Полученные нами результаты, как на территории предприятия, так и в стенах областной школы будут оформлены в виде отчетов и переданы Вам.

При защите школьных проектов будут применяться принципы конфиденциальности информации и научной этики. В частности, не будет раскрываться информация о конкретных объектах исследования. При подготовке материалов к защите будет согласовываться их содержание на предмет разрешенной к раскрытию информации с назначенным Вами лицом.

Приложение 2

Ответное письмо директора «ЮТэйр-Инжиниринг»

 АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЮТэйр-Инжиниринг»

22.10.2018 № 33(33п)-562/18-1
на № 367 от 11.10.2018

Директору ГАОУ ТО "ФМШ"
Н.А.Фомичевой

О сотрудничестве

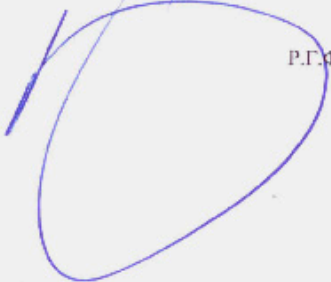
Уважаемая Наталья Александровна!

Наше предприятие заинтересовано в подготовке квалифицированных инженеров для нужд ремонтного производства и, в надежде на перспективность предложенной Вами инициативы, выражаем свою готовность к сотрудничеству с Вашим учреждением.

Из предложенных 5 пунктов проектно-исследовательских работ мы можем оказать Вам содействие лишь в четырех. На нашем предприятии, в Тюмени, отсутствует аппаратура "БАРС-3" для анализа содержания металлов в масле в связи с отсутствием потребности в данных работах при ремонте АТ, поэтому мы не сможем выполнить работы по сопоставлению результатов исследования продуктов износа деталей двигателей выполненного классическим методом с предложенным Вами методом.

Для детального согласования условий выполнения предстоящих исследовательских работ и их организации от нашего предприятия назначен заместитель директора АРК - главный инженер Голубев Михаил Васильевич, тел. 29-89-21, e-mail: Mikhail.Golubev@utair.ru.

Для выписки пропусков на территорию предприятия прошу сообщить паспортные данные Ваших сотрудников и учащихся.

Генеральный директор  Р.Г.Фараджаев

М.В. Голубев
+7(3452)-29-89-21

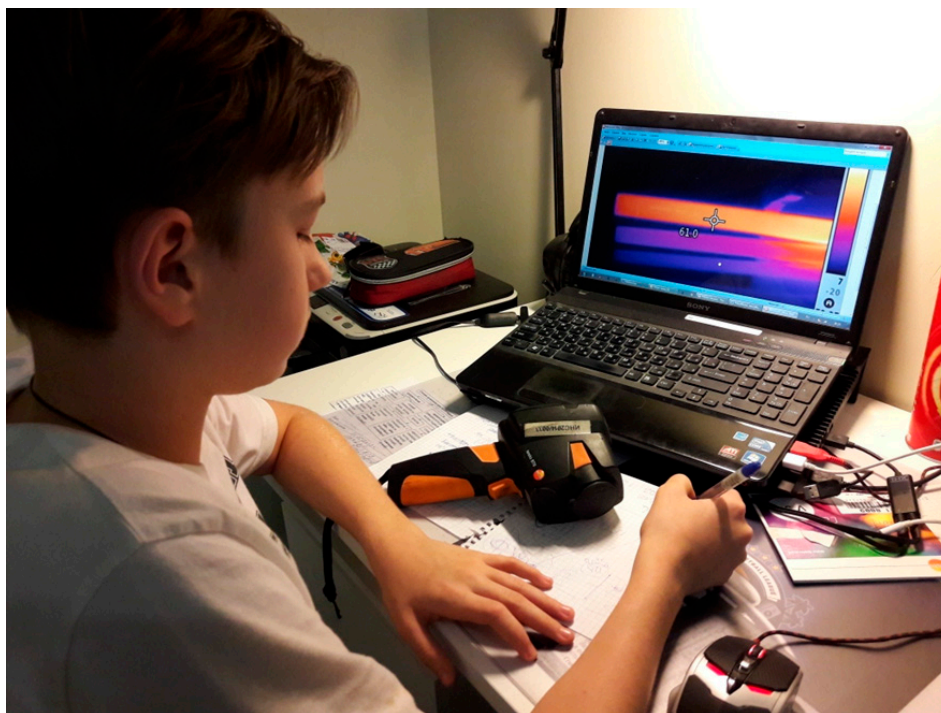
Адрес для направления корреспонденции: 625025 г. Тюмень, аэропорт «Плеханово»,
тел.: (3452) 29-85-80, факс: (3452) 29-85-40, e-mail: UT-E@utair.ru

Приложение 3

Пропуск автора проекта на территорию предприятия



Приложение 4

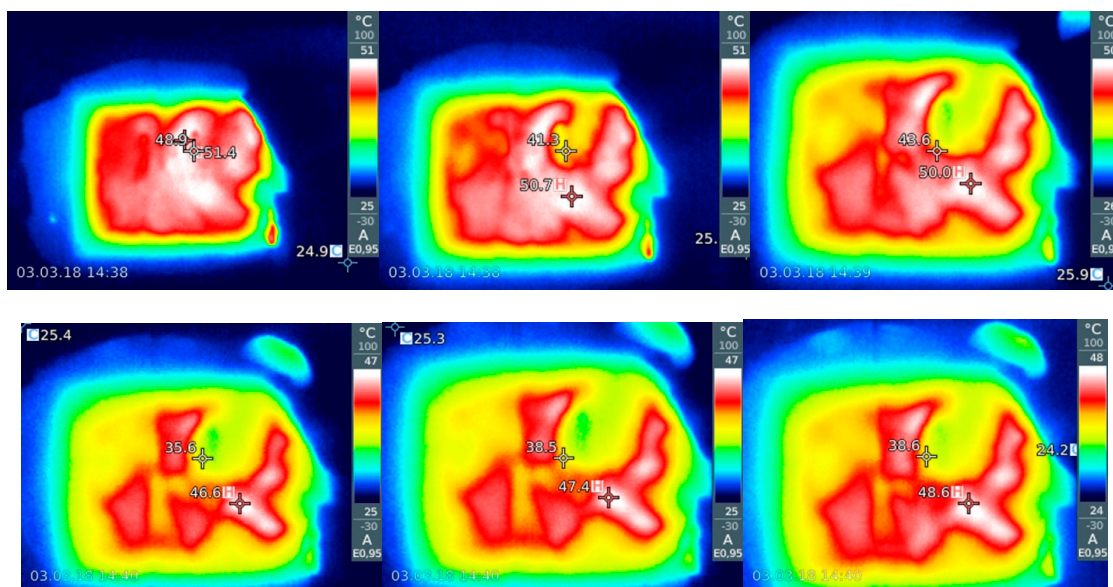
Автор проекта во время анализа термограмм и посещения
АО «ЮТэйр-Инжиниринг»



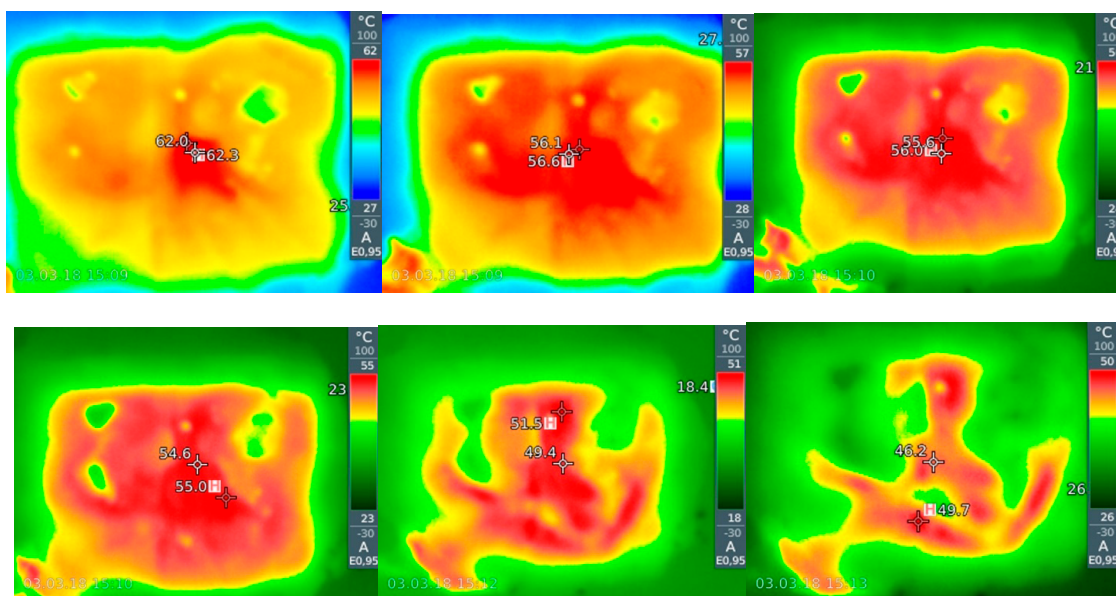
Делегация ГАОУ ТО ФМШ перед входом на предприятие в составе: Владимир Редченко, Олег Тарасов и Дарья Учанова

Приложение 5

Процесс тепловизионного «проявления» внутренней структуры композитного материала (треугольных кусков металлической сетки в объеме воска) в ходе бесконтактного нагрева композита прожектором



Процесс тепловизионного «проявления» неоднородности толщины композитного материала (разной толщины слоя воска) в ходе остывания композита, положенного на холодную керамическую плитку пола



Термограммы в процессе остывания композита, вынесенного из теплого помещения на улицу (температура около -15°) и положенного на горизонтальный выровненный слой снега

