

УДК 620.19

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН С ИНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ НА УДАЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

С.А. Демин<sup>а</sup>, Е.В. Шалобаев<sup>б</sup>

<sup>а</sup> ООО «НТО «Инфраспек», Санкт-Петербург, 192007, Российская Федерация

<sup>б</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: shalobaev47@mail.ru

### Информация о статье

Поступила в редакцию 13.06.17, принята к печати 29.08.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-812-819

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Демин С.А., Шалобаев Е.В. Определение зон с иным химическим составом на удаленных поверхностях // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 5. С. 812–819. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-812-819

### Аннотация

**Предмет исследования.** Представлен новый метод тепловизионной спектроскопии, позволяющий определять химический состав дефектов, образованных в результате воздействия на поверхность химическими, биохимическими реагентами, точечным загрязнением поверхности, точечным заражением поверхности биологическими организмами, находящимися на удалении от оператора в труднодоступных местах, где отсутствует возможность использования известной оптической и спектроскопической аппаратуры. **Метод.** Исследование поверхности производится с помощью тепловизионной камеры с одновременным облучением поверхности лазерным излучением с длиной волны, совпадающей со спектральной областью поглощения вещества дефекта. Наличие дефекта на поверхности определяется на экране тепловизионной камеры как зона контраста между температурой фона и температурой дефекта. При совпадении длины волны лазерного излучения с областью характеристической полосы поглощения в спектре поглощения вещества дефекта появляется возможность определения химического состава дефекта. **Основные результаты.** Разработан мехатронный модуль сканирования лазерного луча по поверхности. Одновременное измерение температурного поля с помощью тепловизора и обратной связью позволяет проводить работы по поиску зон с предполагаемым наличием определенных зон с определенным химическим составом. Представлены экспериментальные результаты исследования дефектов с отличными значениями коэффициента поглощения, нанесенных на поверхность плотной бумаги в виде толстых слоев каплеобразной формы. Произведен сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений. Представлена схема эксперимента и структура мехатронного комплекса. **Практическая значимость.** Предложенный метод может быть использован для определения пятен загрязнения на поверхности водоемов, в судебной экспертизе для поиска вещественных доказательств на развернутых поверхностях, определения мест заражения поверхности биологическими объектами при проведении микологических обследований.

### Ключевые слова

лазер, тепловизор, сканирование, коэффициент поглощения, спектроскопия, химический состав, мехатронный комплекс

## DETERMINATION OF ZONES WITH DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION ON REMOTE SURFACES

S.A. Demin<sup>а</sup>, E.V. Shalobaev<sup>б</sup>

<sup>а</sup> LLC "TS" Infraspек", Saint Petersburg, 192007, Russian Federation

<sup>б</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: shalobaev47@mail.ru

### Article info

Received 13.06.17, accepted 29.08.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-812-819

Article in Russian

**For citation:** Demin S.A., Shalobaev E.V. Determination of zones with different chemical composition on remote surfaces. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 5, pp. 812–819 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-812-819

**Abstract**

**Subject of Research.** A new method of thermal imaging spectroscopy is presented giving the possibility to determine the chemical composition of defects formed as a result of the surface exposure by chemical, biochemical reagents, point contamination of the surface by biological organisms far from the operator in hard-to-reach places where there is no possibility for application of the known optical and spectroscopic equipment. **Method.** The surface study is performed by thermal imaging camera with simultaneous irradiation of the surface by laser radiation with a wavelength that coincides with the spectral absorption region of the defect substance. The presence of a defect on the surface is determined on the screen of the thermal imaging camera as a zone of contrast between the background temperature and the defect temperature. When the wavelength of the laser radiation coincides with the region of the characteristic absorption band in the absorption spectrum of the defect matter, it becomes possible to determine the chemical composition of the defect. **Main Results.** A mechatronic module for laser beam scanning over a surface is developed. Simultaneous measurement of the temperature field with the help of a thermal imager and feedback makes it possible to carry out work on the search for zones with the supposed presence of certain zones with definite chemical composition. Experimental results of the defects study are presented with different values of absorption coefficient applied on the heavyweight paper surface in the form of thick drop-shaped layers. A comparative analysis of the experimental and calculated values is carried out. The experiment scheme and the mechatronic complex structure are presented. **Practical Relevance.** The proposed method can be used to determine contamination spots on the surface of reservoirs, to search for material evidence on unfolded surfaces in forensic examination, to determine the sites of the surface contamination by biological objects during mycological examinations.

**Keywords**

laser, thermal imaging camera, scanning, absorption coefficient, spectroscopy, chemical composition, mechatronic complex

**Введение**

В настоящее время для определения оптических характеристик вещества широко используются методы спектроскопии [1, 2] и лазерные методы. Например, методы инфракрасной (ИК) спектроскопии позволяют проводить исследование химического состава вещества путем измерения интенсивности излучения, прошедшего сквозь образец, отраженного от поверхности образца и рассеянного поверхностью образца [3]. В этих методах экспериментальные результаты существенно зависят от подготовки образца [4–6]. В рассматриваемом случае специальной подготовки образца не требуется.

Среди лазерных методов детектирования следовых количеств вещества на поверхности тел наибольшее распространение на сегодняшний день получили такие, как лазерная спектроскопия комбинационного рассеяния (Raman Spectroscopy); спектроскопия лазерно-индуцированного пробоя (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, LIBS); лазерно-индуцированная флуоресценция при фотофрагментации молекул ВВ (Photofragmentation – Laser-Induced Fluorescence, PF-LIF); спектроскопия когерентного антистоксова комбинационного рассеяния света (CARS); инфракрасная лазерная спектроскопия (Infra Red Spectroscopy); активный инфракрасный спектральный имиджинг, т.е. формирование спектральных изображений в спектре рассеянного или теплового излучения (Active IR Spectral Imaging) при облучении объекта лазерным излучением среднего ИК диапазона. Перечисленные методы дополнены технологиями импульсной терагерцовой спектроскопии и имиджинга (Terahertz Spectroscopy and Imaging), которые имеют огромный потенциал для применений в спектроскопии химических и биологических объектов [7].

Методы и аппаратура, позволяющие в режиме реального времени качественно и количественно выявить на поверхности объектов следы различных химических соединений, необходимы для широкого круга приложений.

Некоторые локальные средства обнаружения химических соединений невозможно использовать на определенных объектах исследования. Часто сам объект физически недоступен. Такие средства, как правило, являются пробоотборными и, следовательно, требуют заметных затрат времени для проведения анализа. Поэтому разработка и создание дистанционных методов контроля следов химических веществ на поверхности тел, а также портативной аппаратуры, работающей в режиме реального времени, чрезвычайно актуальны. Дистанционные методы позволяют оперативно обнаруживать дефектные зоны и смогут сыграть неосценимую роль при контроле дефектов на поверхности тел, находящихся в труднодоступных местах.

**Постановка задачи**

В работе рассмотрены результаты исследования далеко удаленного объекта методом, который авторы назвали тепловизионной спектроскопией. Сущность метода заключается в определении контрастных участков в поле тепловизора, появившихся в результате теплового (температурного) [8] излучения при поглощении лазерного излучения с длиной волны  $\lambda$ . При этом  $\lambda$  должна находиться в области характеристической полосы поглощения искомого вещества.

Последовательность исследования поверхности (определения дефектов) методом тепловизионной спектроскопии сводится к следующему. Предварительно визуально определяется участок поверхности материала с дефектом. Под дефектом понимается зона загрязнения поверхности теми или иными химическими веществами, в том числе образованными в результате воздействия на поверхность биохимическими деструкторами. Затем на исследуемую поверхность наводится камера тепловизора и одновременно

производится облучение исследуемого участка поверхности сканирующим лучом лазера [9]. Отметим, что относительно новые аппаратные средства – сканирующие лазеры – успешно используются во многих областях науки и техники, в частности, в медицине для профилактики и для диагностики [10–24].

Соединение двух методов – тепловизионных систем и сканирующих лазеров – привносят новое качество, которое позволяет решить поставленную проблему. Один из авторов данной статьи имеет подобный опыт, когда одна из жизненных проблем была решена объединением томографии и того же сканирующего лазерного излучения [25, 26].

И в первом, и во втором случае можно увидеть мехатронные аспекты при решении поставленных проблем, так как в указанных случаях имеет место объединение разных по характеру физических компонентов, что резко изменяет качество [27–31].

В результате перехода энергии лазерного излучения в тепло происходит нагревание материала. Перенос тепла в твердом теле осуществляется посредством теплопроводности. Превращение поглощенной энергии излучения в тепловую энергию материала происходит за  $10^{-11}$  с, поэтому температура поверхности материала в области воздействия быстро возрастает. Так как нагрев происходит на длине световой волны в области характеристической полосы поглощения, появляется возможность идентифицировать химический состав вещества дефекта по спектрам поглощения вещества. Затем производится анализ распределения температурного поля на данной поверхности и выявляется наличие температурных пиков на поверхности материала. Это позволяет по наличию контрастных участков в поле тепловизора определить наличие дефектов, их химический состав и координаты.

В рамках данной работы авторами проведен анализ зависимости времени нагрева материала лазером от оптических свойств (коэффициента поглощения  $A$ ) материала (рис. 1) [32, 33].

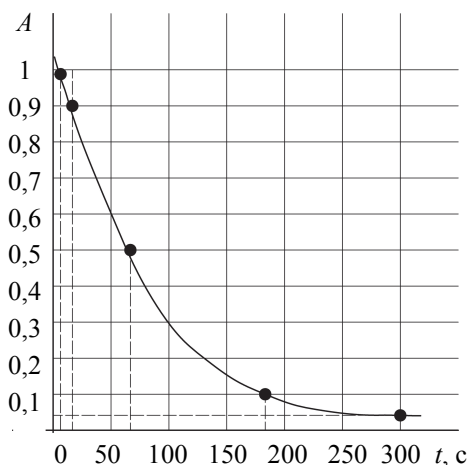


Рис. 1. Зависимость изменения времени нагрева материала  $t$  от его коэффициента поглощения  $A$

#### Методика эксперимента и его основные результаты

Для проведения эксперимента были взяты образцы, изготовленные из плотной белой бумаги (картон), на поверхность которой наносился непрозрачный слой акварельной краски. В ходе эксперимента образцы облучались лазерным излучением на длине волны  $\lambda=0,63$  мкм с мощностью излучения  $P_0=1,5$  мВт [8]. Тепловизор Flir E8 был подобран так, чтобы определить температуру поверхности образца в области нагрева лазерным излучением и температуру окружающей среды [34, 35].

При облучении образцов лазерным излучением была получена зависимость времени облучения  $t$  от коэффициента поглощения материала  $A=1-R$  (для непрозрачного дефекта), где  $R$  – коэффициент отражения поверхности [1]. Образцы нагревались лазерным излучением до одной и той же температуры, фиксируемой тепловизионной камерой, которая составляла  $27,1$  °С. Схема проведения эксперимента приведена на рис. 2.

В зависимости от коэффициента поглощения образца на длине волны  $0,63$  мкм номинальная температура нагрева достигалась за разное время. Минимальное время нагрева наблюдалось у образца №1 (максимальное значение коэффициента поглощения). Максимальное время нагрева наблюдалось на образце №2 (минимальное значение коэффициента поглощения). Значения коэффициентов поглощения образцов были взяты из источника [36, 37].

При рассмотрении температурного поля образца с дефектом с помощью тепловизионной камеры (рис. 3, а) можно увидеть, что имеет место равномерное тепловое поле, и невозможно сделать заключение о какой-либо зоне на поверхности образца с отличными оптическими характеристиками. При воздействии лазерного излучения на поверхность происходит нагревание дефекта (рис. 4) до температуры, от-

личающейся от температуры фона на  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Этого оказалось достаточно для того, чтобы зафиксировать дефект (рис. 3, б, выделенная зона), имеющий отличительные значения  $A(\lambda)$  от значений  $A(\lambda)$  фона.

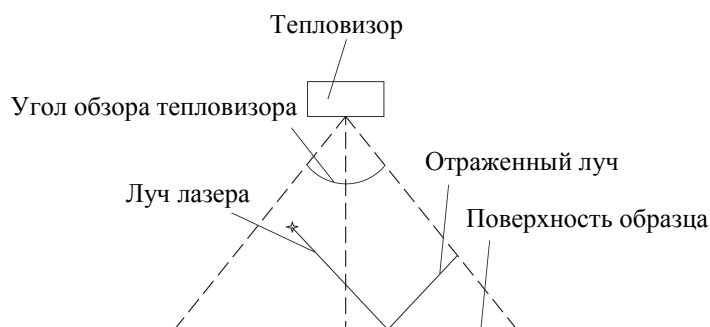


Рис. 2. Схема проведения эксперимента

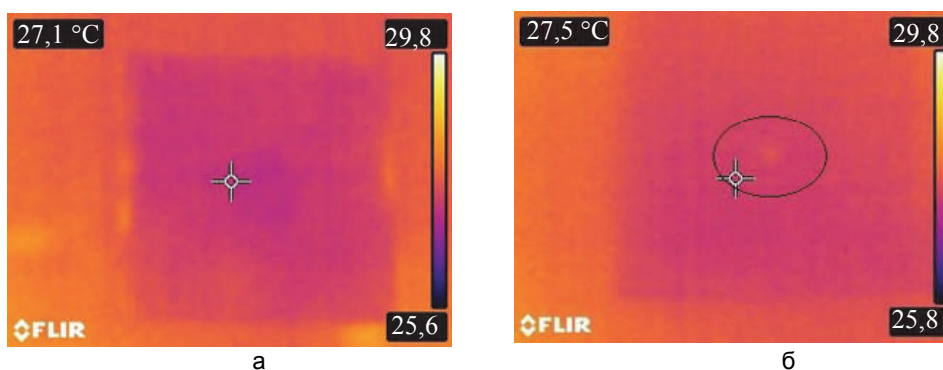


Рис. 3. Снимки поверхности с дефектом, полученные с помощью тепловизора: до нагрева лазерным излучением (а); после нагрева лазерным излучением (б) (в верхнем левом углу показана температура в точке взаимодействия с поверхностью)

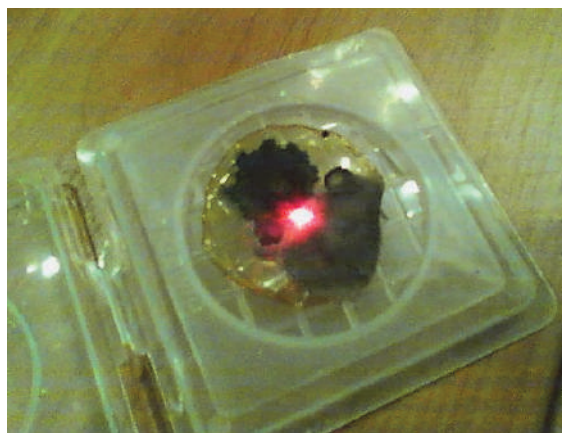


Рис. 4. Процесс облучения лазером образца. Размер образца 80 мм, дефекта 30 мм

Был произведен расчет значений температуры нагревания дефекта от времени экспонирования и коэффициента поглощения вещества дефекта по формуле (1) [37]:

$$T = \frac{2q_0(1-R)\sqrt{\alpha\tau}}{K\sqrt{\pi}} + T_n, \quad (1)$$

где  $q_0$  – плотность мощности падающего излучения;  $R$  – коэффициент отражения при нормальном падении излучения на поверхность образца;  $\alpha$  – теплопроводность материала, Вт/(м·К);  $\tau$  – длительность импульса, с;  $K$  – температуропроводность материала, м<sup>2</sup>/с;  $T_n$  – начальная температура.

Температура  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), до которой нагревается объект, прямо пропорциональна поглощенной мощности излучения  $q$ , которая определяется по формуле (2):

$$q = \frac{P_0 \times A}{S}, \quad (2)$$

где  $P_0$  – мощность излучения лазера, Вт;  $S$  – площадь поверхности освещаемой лазерным излучением,  $m^2$ ;  $A$  – коэффициент поглощения вещества дефекта при  $\lambda = 0,63$  мкм. Значения  $K$  и  $\alpha$  взяты из работы [4].

Экспериментальные и расчетные значения приведены в таблице.

№ образца	Коэффициент поглощения вещества дефекта $A$ ( $\lambda$ )	Температура образца до воздействия излучением лазера, °С	Температура образца после воздействия излучением лазера, °С	Время экспонирования, с	Расчетные значения температуры, °С	Время экспонирования расчетное, с
1	0,9	26,7	27,2	20	27,6	10
2	0,5	26,5	27,1	50	27,2	50

Таблица. Экспериментальные и расчетные значения температуры дефекта при воздействии лазерного излучения

### Реализация предлагаемого метода

Наиболее эффективен данный метод при измерениях на удаленных поверхностях с помощью мехатронного комплекса [27–31], осуществляющего сканирование лазерным излучением в апертурном угле обзора тепловизионной камеры, позволяя определить координаты дефекта в декартовой системе координат. На рис. 5 приведена структурная схема мехатронного комплекса для сканирования поверхности методом тепловизионной спектроскопии.

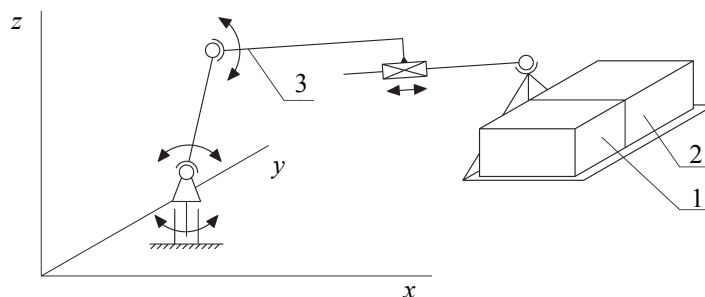


Рис. 5. Структурная схема мехатронного комплекса: 1 – лазер; 2 – тепловизор; 3 – манипулятор

Измерительный прибор – тепловизор 2 и лазер 1 с перестраиваемой длиной волны – устанавливаются на платформу манипулятора 3. Мехатронный комплекс устанавливают на горизонтальную поверхность на расстоянии, необходимом для проведения измерений, которое определяется температурной чувствительностью тепловизионной камеры. Лазер 1 и тепловизор 2 перемещают с помощью манипулятора 3 относительно поверхности исследования. Затем на основе анализа снимков, полученных с помощью тепловизионной камеры (выявляется наличие температурных пиков), делается заключение о наличии дефекта на рассматриваемом участке поверхности [7, 32, 33, 38–44].

### Заключение

Метод тепловизионной спектроскопии является конкурентом лазерной спектроскопии. Отличительной особенностью метода тепловизионной спектроскопии является возможность исследования зон на поверхности с иным химическим составом (дефект) посредством измерения теплового излучения поверхности, возбуждаемого лазерным излучением на длине волны в области характеристических полос поглощения исследуемого вещества. В результате появляется возможность выявления на удаленных поверхностях зон с иным химическим составом независимо от их формы и размеров, что важно для учета влияния аппаратурно-методических погрешностей на достоверность измерения. Метод тепловизионной спектроскопии может быть использован для широкого круга объектов в различных областях деятельности человека. С помощью этого метода можно проводить исследования удаленных или труднодоступных поверхностей интерьеров и экстерьеров музейных комплексов и культовых сооружений [38–43].

### Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. 558 с.
2. Кизель В.А. Отражение света. М.: Наука, 1973. 352 с.
3. Demtroder W. *Laser Spectroscopy. Basic Concepts and Instrumentation*. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 986 p. doi: 10.1007/978-3-662-05155-9
4. Демин А.В. Оценка глубины проникновения излучения при внутреннем отражении // Поверхность. Рентгеновские,

### References

1. Landsberg G.S. *Optics*. 5<sup>th</sup> ed. Moscow, Nauka Publ., 1976, 558 p. (in Russian)
2. Kizel V.A. *Reflection of Light*. Moscow, Nauka Publ., 1973, 352 p. (in Russian)
3. Demtroder W. *Laser Spectroscopy. Basic Concepts and Instrumentation*. Berlin, Springer-Verlag, 2003, 986 p. doi: 10.1007/978-3-662-05155-9

- синхронные и нейтронные исследования. 1999. №5-6. С. 167–168.
5. Kliger D. *Ultrasensitive Laser Spectroscopy*. NY: Academic Press, 1983. 450 p.
  6. Стенхольм С. Основы лазерной спектроскопии. М.: Мир, 1987. 312 с.
  7. Скворцов Л.А. Лазерные методы дистанционного обнаружения химических соединений на поверхности тел. М.: Техносфера, 2014. 208 с.
  8. Колочкин В.Я., Мосягин Г.М. Тепловизионные приборы и системы. М.: МГТУ, 2003. 54 с.
  9. Ефименко Ал.В., Ефименко А.В., Шалобаев Е.В. Оптико-механический дефлектор. Патент РФ № 2212045. Оpubл. 10.03.2003.
  10. Леонтьева Н.В. Рекомендации для медицинского персонала по практическому применению стимулятора лазерного сканирующего физиотерапевтического СЛСФ-01.20К / Под ред. Н.Н. Петрищева, В.Т. Ефименко. СПб.: ГМУ-НПО Скала, 1999. 36 с.
  11. Шалобаев Е.В., Юркова Г.Н., Ефименко А.В., Ефименко В.Т., Леонтьева Н.В. Сканирующие лазерные установки в медицине // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2001. № 4. С. 147–150.
  12. Ефименко В.Т., Шалобаев Е.В., Ефименко А.В., Юркова Г.Н. Сканирующие лазерные датчики в системе лечения и диагностики заболеваний // Датчики и системы. 2001. № 11. С. 47–49.
  13. Леонтьева Н.В., Ефименко В.Т., Ефименко А.В. К вопросу о возможности использования метода сканирующей лазеротерапии в клинической практике // Сб.: Актуальные проблемы лазерной терапии. СПб.: ГМУ, 2001. С. 207–219.
  14. Леонтьева Н.В. Применение сканирующей лазеротерапии в лечении больных с клиническими проявлениями атеросклероза. СПб.: ГМУ, 2001. 31 с.
  15. Шалобаев Е.В., Леонтьева Н.В., Сытник В.М., Монахов Ю.С., Ефименко А.В. Применение биологических обратных связей и средств томографии в лазерных сканирующих физиотерапевтических установках / Под ред. Н.Н. Петрищева. СПб.: ГМУ, 2006. С. 198–201.
  16. Шалобаев Е.В., Юркова Г.Н., Монахов Ю.С., Ефименко В.Т., Ефименко А.В., Корндорф С.Ф., Дунаев А.В. Проблемы создания биологических обратных связей и их применение в сканирующих лазерных медицинских установках // Известия ОрелГТУ. Серия: Машиностроение. Приборостроение. 2003. № 4. С. 94–97.
  17. Дунаев А.В., Евстигнеев Е.В., Шалобаев Е.В. Лазерные терапевтические устройства: Учебное пособие. Орел: ОрелГТУ, 2005. 143 с.
  18. Дунаев А.В., Рогаткин Д.А. К вопросу о возможности использования методов неинвазивной спектрофотометрии для контроля эффективности низкоинтенсивной лазерной терапии // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2009. № 3. С. 110–115.
  19. Загускин С.Л. Новое поколение программно-аппаратных лечебно-диагностических устройств // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 8. С. 69–75.
  20. Дунаев А.В. Физико-технические основы низкоинтенсивной лазерной терапии. LAMBERT Academic Publishing, 2012. 296 с.
  21. Шалобаев Е.В., Дунаев А.В., Козырева О.Д. Проблемы лазерной терапии: сканирующая лазеротерапия и сканирующие лазерные стимуляторы // Сб. тр. II Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. С. 66–67.
  22. Шалобаев Е.В., Дунаев А.В., Козырева О.Д. Сканирующая лазеротерапия с применением биологических обратных связей и мехатронные аспекты проектирования медицинских установок // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. № 1 (303). С.101–108.
  23. Rogatkin D.A., Dunaev A.V. Stimulation of blood microcirculation at low level laser therapy: monitoring tools and preliminary data // Journal of Medical Research and Development. 2014. V. 3. N 1. P. 100–106.
  24. Kozyreva O.D., Pushkareva A.E., Shalobaev E.V., Biro I. Analysis of blood oxygenation level effect on backscattered
  4. Demin A.V. Estimation of the depth of penetration of radiation, internal reflection. *Journal of Surface Investigation: X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 1999, no. 5-6, pp. 167–168. (in Russian)
  5. Kliger D. *Ultrasensitive Laser Spectroscopy*. NY, Academic Press, 1983, 450 p.
  6. Stenholm S. *Foundations of Laser Spectroscopy*. John Wiley & Sons, 1984, 304 p.
  7. Skvortsov L.A. *Laser Methods for the Remote Detection of Chemical Compounds on the Bodies Surfaces*. Moscow, Technosfera Publ., 2014, 208 p. (in Russian)
  8. Kolyuchkin V.Ya., Mosyagin G.M. *Thermal Imaging Devices and Systems: Textbook*. Moscow, MSTU Publ., 2003, 54 p. (in Russian)
  9. Efimenko Al.V., Efimenko A.V., Shalobaev E.V. *Opto-Mechanical Deflector*. Patent RU 2212045, 2003.
  10. Leontieva N.V. *Recommendations for medical staff on the practical application of the stimulator laser scanning physiotherapy SLSF-01.20* / Ed. N.N.Petrishchev, V.T. Efimenko. SPb., GMU-NPO Skala Publ., 1999, 36 p. (in Russian)
  11. Shalobaev E.V., Yurkova G.N., Efimenko V.T., Efimenko A.V., Leont'eva N.V. Scanning laser installation in medicine. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2001, no. 4, pp. 147–150. (in Russian)
  12. Efimenko V.T., Shalobaev E.V., Efimenko A.V., Yurkova G.N. Scanning laser sensors in the treatment and diagnosis of diseases. *Sensors and Systems*, 2001, no. 11, pp. 47–49. (in Russian)
  13. Leont'eva N.V., Efimenko V.T., Efimenko A.V. To the question about the possibility of using the method of scanning of laser therapy in clinical practice. In *Actual Problems of Laser Therapy*. St. Petersburg, SMU Publ., 2001, pp. 207–219. (in Russian)
  14. Leont'eva N.V. Application of the scanning of laser therapy in the treatment of patients with clinical manifestations of atherosclerosis. In *Actual Problems of Laser Therapy*. St. Petersburg, SMU Publ., 2001, p. 31. (in Russian)
  15. Shalobaev E.V., Leont'eva N.V., Sytnik V.M., Monakhov Yu.S., Efimenko A.V. The use of biological feedbacks and imaging in laser scanning physiotherapeutic plants. Ed. N.N. Petrishchev. St. Petersburg, SMU Publ., 2006, pp. 198–201. (in Russian)
  16. Shalobaev E.V., Yurkova G.N., Monakhov Yu.S., Efimenko V.T., Efimenko A.V., Korndorf S.F., Dunaev A.V. The problems of creating biological feedbacks and their application to scanning laser medical plants. *Izvestiya OrelGTU. Seriya: Mashinostroenie. Priborostroenie*, 2003, no. 4, pp. 94–97. (in Russian)
  17. Dunaev A.V., Evstigneev E.V., Shalobaev E.V. *Laser Therapeutic Apparatus: Textbook*. Oryol, OryolSTU Publ., 2005, 143 p. (in Russian)
  18. Dunaev A.V., Rogatkin D.A. To question of possibility to use methods of non-invasive spectrophotometry for controlling the effectiveness of the low level laser therapy. *Fundamental'nye i Prikladnye Problemy Tekhniki i Tekhnologii*, 2009, no. 3, pp. 110–115. (in Russian)
  19. Zaguskin S.L. New generation hardware-software medical-diagnostic devices. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2010, no. 8, pp. 69–75. (in Russian)
  20. Dunaev A.V. *Physical and Technical Basics of Low Level Laser Therapy*. LAMBERT Academic Publishing, 2012, 296 p. (in Russian)
  21. Shalobaev E.V., Dunaev A.V., Kozyreva O.D. Problems of laser therapy: a scanning laser and scanning laser stimulators. *Proc. II All-Russian Congress of Young Scientists*. St. Petersburg, 2013, pp. 66–67. (in Russian)
  22. Shalobaev E.V., Dunaev A.V., Kozyreva O.D. Scan laser therapy with the use of biological feedbacks and mechatronic aspects design of medical devices. *Fundamental'nye i Prikladnye Problemy Tekhniki i Tekhnologii*, 2014, no. 1, pp. 101–108. (in Russian)
  23. Rogatkin D.A., Dunaev A.V. Stimulation of blood microcirculation at low level laser therapy: monitoring tools and preliminary data. *Journal of Medical Research and Development*, 2014, vol. 3, no. 1, pp. 100–106.

- radiation signal by means of numerical modeling // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 1. С. 163–165. doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-1-163-165
25. Иванов В.А., Шалобаев Е.В., Сытник В.М., Монахов Ю.С. Применение оптической когерентной томографии для реализации обратных связей в приборах лазеротерапии // Материалы Междунар. конф. Приборостроение. Винница-Ялта, 2005. С. 45–48.
  26. Шалобаев Е.В., Леонтьева Н.В., Монахов Ю.С., Ефименко А.В., Подмастерьев К.В., Дунаев А.В. Применение биологических обратных связей и средств томографии в лазерных сканирующих физиотерапевтических установках // Технологии живых систем. 2009. № 4. С. 66–72.
  27. Шалобаев Е.В. К вопросу об определении мехатроники и иерархии мехатронных объектов // Датчики и системы. 2002. № 6. С. 62–64.
  28. Шалобаев Е.В. Об интеллектуальном управлении мехатронных систем // Датчики и системы. 2002. №2. С. 8–12.
  29. Петров С.Ю., Шалобаев Е.В. Универсальные регистрирующие и показывающие приборы как элемент иерархии мехатронных объектов // Мехатроника. 2001. № 5. С. 29–34.
  30. Шалобаев Е.В., Толочка Р.Т. Терминологические аспекты современной мехатроники // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологий. 2013. № 5. С. 122–132.
  31. Шалобаев Е.В., Толочка Р.Т. Современное состояние и перспективы развития основных понятий в области мехатроники // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. 2014. № 1. С. 156–164.
  32. Демин С.А., Шалобаев Е.В. Способ определения дефектов в поверхностном слое и в объеме материала // Сборник трудов V Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб.: Ун-т ИТМО, 2016. Т. 1. С. 132–134.
  33. Демин А.В., Демин С.А., Демина А.С., Шалобаев Е.В. Способ определения дефектов материала. Патент РФ № 2626227. Опубл. 24.07.2017.
  34. Vollmer M., Mollmann K.–P. *Infrared Thermal Imaging. Fundamentals, Research and Applications*. Weinheim, Wiley, 2010. 612 p.
  35. Kaplan H. *Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment*. 3<sup>rd</sup> ed. Bellingham, Washington: SPIE, 2007. 240 p.
  36. Вейнберг Т.И. Каталог цветного стекла. М.: Машиностроение, 1967. 62 с.
  37. Вейко В.П., Шахно Е.А. Сборник задач по лазерным технологиям. 3-е изд. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 67 с.
  38. Демин А.В., Демин С.А., Шалобаев Е.В. Заражение поверхностей здания при эксплуатации в современных условиях // XVIII Кашкинские чтения. Санкт-Петербург, 2015. 25 с.
  39. Демин С.А., Шалобаев Е.В. Анализ подверженностей на наличие биодеструкторов // XIX Кашкинские чтения. Санкт-Петербург, 2016. 25 с.
  40. Демин А.В., Демин С.А., Шалобаев Е.В. Проблема биокоррозии и мониторинга состояния зданий и сооружений // Доклады XLII научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Санкт-Петербург, 2013.
  41. Шалобаев Е.В., Демин С.А. Разработка комплекса для проведения мониторинга зданий и сооружений по вопросам биопоражений // XLIV научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО. Санкт-Петербург, 2015.
  42. Демин А.В., Демин С.А., Шалобаев Е.В. Спасение памятников религиозного назначения от биохимического разрушения // Научно-практическая конференция «Церковное зодчество Тихвинской епархии: история и современность». Тихвин, 2016.
  43. Демин С.А., Шалобаев Е.В. Новые методы бесконтактной диагностики поверхностей на наличие плесневого гриба // XX Кашкинские чтения. Санкт-Петербург, 2017. 25 с.
  24. Kozyreva O.D., Pushkareva A.E., Shalobaev E.V., Biro I. Analysis of blood oxygenation level effect on backscattered radiation signal by means of numerical modeling. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2015, vol. 15, no. 1, pp. 163–165. doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-1-163-165
  25. Ivanov V.A., Shalobaev E.V., Sytnik V.M., Monakhov Yu.S. Application of optical coherence tomography for the implementation of feedback in devices of laser therapy. *Materials of Int. Conf. on Instrumentmaking*. Vinnitsa-Yalta, 2005, pp. 45–48. (in Russian)
  26. Shalobaev E.V., Leontyeva N.V., Monakhov Yu.S., Efimenko A.V., Podmasteryev K.V., Dunaev A.V. The use of biofeedback and tomography tools in laser scanning physiotherapeutic settings. *Technologies of Living Systems*, 2009, no. 4, pp. 66–72. (in Russian).
  27. Shalobaev E.V. To the question about the definition of mechatronics and mechatronic hierarchy of objects. *Sensors and Systems*, 2002, no. 6, pp. 62–64. (in Russian)
  28. Shalobaev E.V. The intellectual control of mechatronic systems. *Sensors and Systems*, 2002, no. 2, pp. 8–12. (in Russian)
  29. Petrov S.Yu., Shalobaev E.V. Universal registered and showing the devices as part of the hierarchy of mechatronic objects. *Mechatronics*, 2001, no. 5, pp. 29–34. (in Russian)
  30. Shalobaev E.V., Tolocka R.T. Terminological aspects of modern mechatronics. *Fundamental'nye i Prikladnye Problemy Tekhniki i Tekhnologii*, 2013, no. 5, pp. 122–132. (in Russian)
  31. Shalobaev E.V., Tolocka R.T. Modern state and development prospects of the basic concepts in the field of mechatronics. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2014, no. 1, pp. 156–164. (in Russian)
  32. Demin S.A., Shalobaev E.V. Method of determining defects in the surface layer and in the bulk material. *Proc. V All-Russian Congress of Young Scientists*. St. Petersburg, 2016, vol. 1, pp. 132–134. (in Russian)
  33. Demin A.V., Demin S.A., Demina A.S., Shalobaev E.V. *Method for Determining Material Defects*. Patent RU 2626227, 2017.
  34. Vollmer M., Mollmann K.–P. *Infrared Thermal Imaging. Fundamentals, Research and Applications*. Weinheim, Wiley, 2010, 612 p.
  35. Kaplan H. *Practical Applications of Infrared Thermal Sensing and Imaging Equipment*. 3<sup>rd</sup> ed. Bellingham, Washington, SPIE, 2007, 240 p.
  36. Weinberg T. I. *Catalogue of Stained Glass*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1967, 62 p.
  37. Veiko V.P., Shakhno E.A. *Tasks Collection in Laser Technologies*. 3<sup>rd</sup> ed. St. Petersburg, SPbSU ITMO Publ., 2007, 67 p. (in Russian)
  38. Demin A.V. Demin S.A., Shalobaev E.V. Contamination of building surfaces during operation in the modern conditions. *Proc. 18<sup>th</sup> Kashkin's Readings*. St. Petersburg, 2015, 25 p. (in Russian)
  39. Demin, S.A., Shalobaev E.V. Analysis of susceptibility to the presence of biodestructors. *Proc. 19<sup>th</sup> Kashkin's Readings*. St. Petersburg, 2016, 25 p. (in Russian)
  40. Demin A.V. Demin S.A., Shalobaev E.V. Problem of bio-corrosion and monitoring of buildings and constructions. *Papers XLII Scientific and Methodological Conference of University ITMO*. St. Petersburg, 2013. (in Russian)
  41. Shalobaev E. V., Demin S.A. development of a complex monitoring of buildings and structures on bioporazheniyam. *Proc. XLIV Scientific and Methodological Conference of University ITMO*. St. Petersburg, 2015. (in Russian)
  42. Demin A.V. Demin S.A., Shalobaev E.V. Salvation of religious monuments from the biochemical destruction. *Proc. Conf. on Church Architecture of the Tikhvin Diocese: History and Modernity*. Tikhvin, Russia, 2016. (in Russian)
  43. Demin S.A., Shalobaev E.V. New methods of contactless diagnostics of surfaces for the presence of mold fungus. *Proc. 20<sup>th</sup> Kashkin's Readings*. St. Petersburg, 2017, 25 p. (in Russian)

**Авторы**

*Демин Сергей Александрович* – исполнительный директор, ООО «НТО «Инфраспек», Санкт-Петербург, 192007, Российская Федерация, Vaux.carlton@gmail.com

*Шалобаев Евгений Васильевич* – кандидат технических наук, доцент, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, shalobaev47@mail.ru

**Authors**

*Sergey A. Demin* – Executive director, LLC "TS" Infraspек", Saint Petersburg, 192007, Russian Federation, Vaux.carlton@gmail.com

*Evgeniy V. Shalobaev* – PhD, Associate Professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, shalobaev47@mail.ru