

С. М. ЛАТЫЕВ, А. А. ВОРОНИН, К. АНДИНГ, Э. ЛИНЦ, П. А. КУРИЦЫН

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Рассматриваются телекоммуникационные способы и устройства для идентификации биологических веществ, растительного сырья и строительных материалов на основе структурного и спектрального анализа их изображения.

Ключевые слова: идентификация объектов, анализ оптического изображения.

Введение. В ряде научных, технических и хозяйственных областей существуют проблемы и задачи идентификации, различения, а также контроля качества и состояния веществ, материалов и продукции. Например, при биологических исследованиях и проведении медицинских операций необходимо идентифицировать биологические ткани и субстраты, а при производстве и поставках материалов и изделий из древесины — знать ее породу. При производстве и хранении зерна контролируют наличие нежелательных включений и появление порчи. При утилизации строительных материалов, для их дальнейшего использования в качестве вторичного сырья, требуется осуществлять их сортировку по определенным видам и классам.

Все эти задачи могут быть решены с помощью специальных оптических методов и устройств. В настоящей статье рассматриваются результаты некоторых исследований по идентификации биологических веществ и материалов, выполненных в Национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики, а также Техническом университете Ильменау, в рамках долгосрочного договора о совместном учебном и научном сотрудничестве.

Идентификация биологических тканей при проведении медицинских операций. Для повышения информативности и безопасности диагностических манипуляций при подготовке и проведении медицинских исследований и операций (пункция эпидурального пространства, взятие материала для морфологических исследований и пр.), проводимых вблизи жизненно важных органов (центральная нервная система, легкие, сердце, поджелудочная железа) требуется применение современных высокотехнологичных и малоинвазивных приборов. Получение достоверной информации возможно тонкоигольным способом без нанесения больших травм и разрезов обследуемому. Однако при этом существует проблема определения расположения кончик иглы в идентифицируемых биологических тканях *in vivo*. Особенно актуальна она при проведении эпидуральной анестезии, поскольку максимальный размер эпидурального пространства имеет в поясничном отделе позвоночника $\approx 5\text{—}7$ мм, а в шейном и грудном — $2\text{—}4$ мм.

При проведении анестезии необходимо пунктировать эпидуральное пространство так, чтобы не повредить твердую мозговую оболочку (ТМО). Опыт анестезиолога, владение мануальными навыками даже для опытных специалистов не позволяет исключить перфорации ТМО (0,6—0,8 % случаев [1]) при существующих мануальных методах верификации эпидурального пространства.

В работе [2] представлены экспериментально опробованные оптические методы идентификации эпидурального пространства на основе оптического световода, помещаемого в просвет медицинской иглы. Дистальный полированный конец световода совпадает с концом иглы и имеет такую же форму среза. По этому световоду оптическое излучение подводится к

концу иглы, а отраженный свет возвращается обратно для верификации расположения конца иглы в искомой биологической ткани.

На рис. 1, а представлена функциональная схема устройства, создающего изображение объекта идентификации (биологической ткани), прилегающей к концу иглы (1 — дистальный торец иглы (оптического жгута), 2 — игла, 3 — волоконно-оптический жгут для передачи изображения с равномерной укладкой волокон, 4 — корпус, 5 — проекционный микрообъектив, 6 — конденсор, 7 — источник света — белый светодиод или миниатюрная лампа накаливания, 8 — ПЗС-матрица, 9 — монитор), а на рис. 1, б — изображения тест-объектов (текст на бумаге и свиная вырезка).

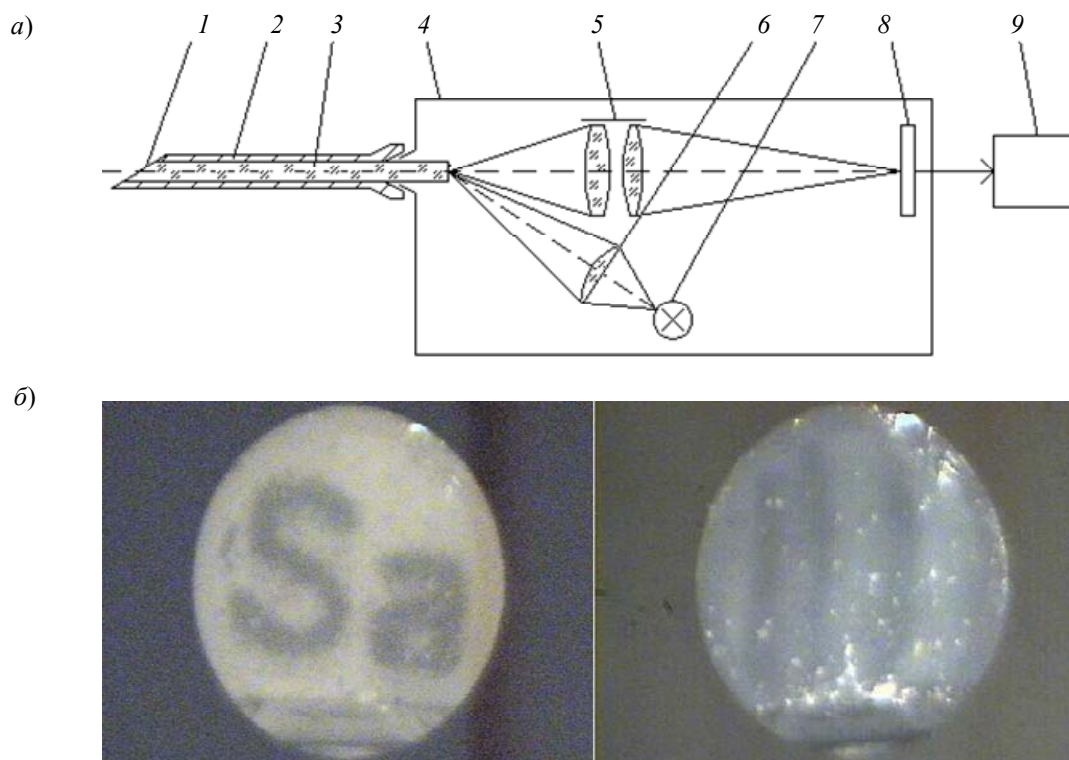


Рис. 1

Существуют различные способы верификации, они основаны на анализе структуры и цвета изображения тканей, прилегающих к концу иглы, на анализе значения интенсивности отраженного излучения или анализе его спектральных характеристик.

Использование оптических методов, дополняющих субъективные ощущения врача объективной информацией о положении наконечника иглы в биологических тканях, позволит избежать наиболее опасного осложнения — перфорации ТМО — и повысить эффективность обучения врачей анестезиологической практике.

Идентификация пород древесины. Россия занимает первое место в мире по запасам леса, а древесина является одной из значимых составных частей в структуре ее экспорта. В связи с этим весьма актуальным является создание оперативных средств для идентификации и контроля лесо- и пиломатериалов, перемещаемых через государственную границу.

Одним из вариантов решения задачи идентификации древесины, позволяющим избежать субъективности оценки и необходимости прибегать к услугам экспертов, является применение спектрофотометрических и колориметрических методов неразрушающего контроля. На рис. 2 представлена функциональная схема разработанного прибора для идентификации лиственных и хвойных пород древесины „Кедр“ [3], функционирование которого основано на измерении и последующей математической обработке спектров ви-

димого и инфракрасного светового потока, отраженного от поверхности объекта (1 — объект исследований — образец древесины; 2 — входное окно прибора; 3 — фотометрический шар со встроенными источниками излучения; 4 — источник излучения видимой области спектра; 5 — выходное окно фотометрического шара; 6 — ПЗС-линейка на видимую область спектра; 7 — вогнутая стигматическая дифракционная решетка видимой области спектра; 8 — источник излучения ИК-области спектра; 9 — входные щели с электромеханической шторкой; 10 — фотогальванический приемник ИК-излучения; 11 — вогнутая стигматическая дифракционная решетка ИК-области спектра). Конструктивно прибор представляет собой два спектрофотометра, один из которых работает в видимой области спектра, а второй — в ближней инфракрасной.

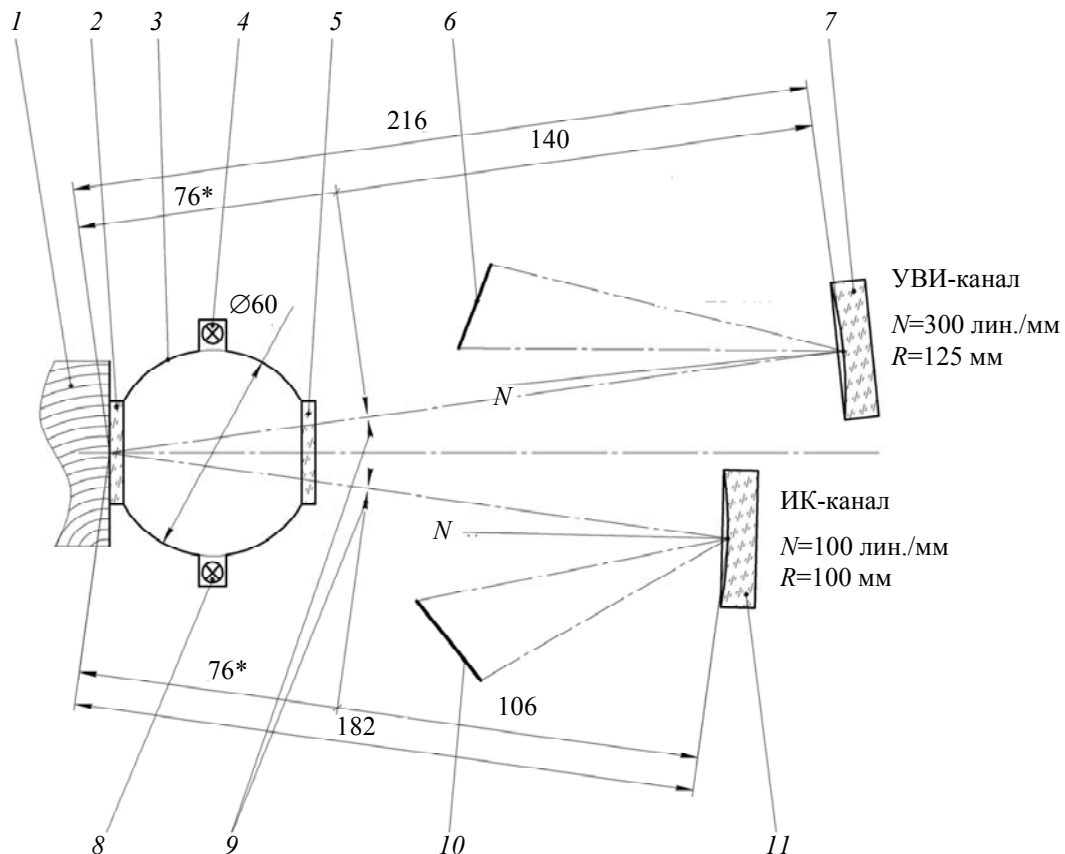


Рис. 2

Световой поток от источников излучения видимого и инфракрасного диапазонов, размещенных в одном фотометрическом шаре, падает на торцевую поверхность исследуемого объекта, отражается от нее и через входную щель попадает на дифракционные решетки. Диспергирующие элементы раскладывают сигнал, полученный от образца, в линейный спектр излучения и проецируют его на ПЗС-линейки приемников. Далее сигнал поступает на встроенный микроконтроллер, где происходит его первичная обработка и преобразование в цифровой вид.

На рис. 3 представлены усредненные спектры различных пород древесины. Как видно из рисунка, спектры различных пород различаются как по абсолютному значению, так и по уровню наклона кривых (первой производной).

Был разработан алгоритм распознавания, который с учетом статистической спектральной информации об отдельных породах позволяет строить так называемые „коридоры“ максимальных и минимальных значений параметров (абсолютных значений спектров и первых производных). Все спектры образцов одной породы формируют коридоры,

представляющие собой нижнюю и верхнюю границы спектров. Далее алгоритм оценивает соответствие полученного спектра древесины породам, находящимся в базе данных.

Экспериментальные исследования опытных образцов приборов показали высокую достоверность идентификации пород древесины (достигающую 80—100 %). Было выявлено, что точность идентификации зависит от влажности древесины, состояния и качества обработки ее поверхности. Помимо того, спектры диффузного отражения от торцов древесины могут зависеть от ряда факторов, например, состава почвы, на которой произрастало дерево, или химических особенностей воды в регионе произрастания. Последнее обстоятельство требует включения в базу данных спектров рассеяния отраженного излучения от образцов пород деревьев, произрастающих в различных регионах страны.

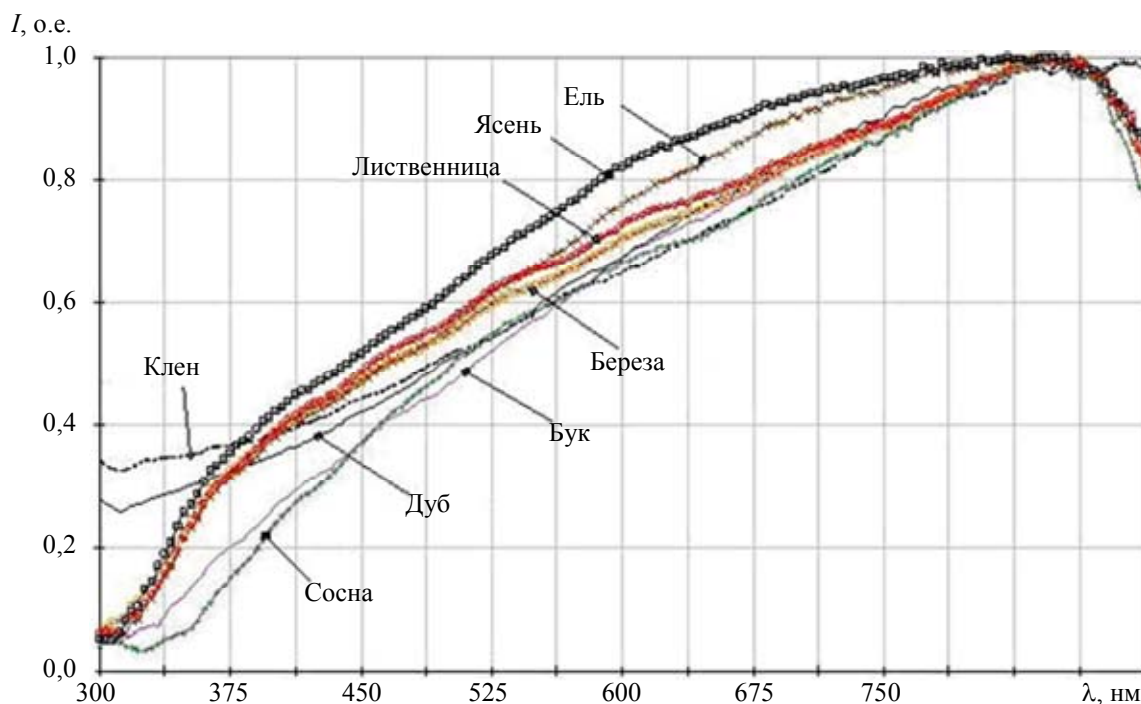


Рис. 3

Идентификация включений и зараженных зерен в зерновых культурах. При сборе и хранении зерновых культур, особенно используемых в хлебобулочной продукции, производят тщательный контроль их качества с целью выявления всевозможных включений (семена сорняков, камешки, комки земли, насекомые, зерна других культур), поврежденных, несъедобного и зараженного плесневыми грибами зерна.

Автоматизация этого трудоемкого процесса возможна с использованием анализа формы, структуры и цвета создаваемого цветной CCD-видеокамерой изображения транспортируемого (ссыпаемого) зерна [4, 5]. Был разработан алгоритм, позволяющий идентифицировать контролируемое зерно по 23 классам, учитывая около 200 параметров (характерных особенностей) для каждого из 95 000 объектов, имеющих в базе данных компьютера.

Проведенные исследования показали, что точность идентификации зависит от вида материала, а также характерных особенностей и числа объектов в банке данных для каждого вида и класса зерна (рис. 4) [5, 6], что требует создания большого банка данных.

Дальнейшие исследования в этом направлении следует продолжить путем пополнения банка данных и разработки систем по автоматизированному устранению включений и некачественных зерен при контроле зернового материала.



Рис. 4

Идентификация утилизируемых строительных материалов. Утилизация отработанных технических изделий, зданий и других объектов жизнедеятельности людей, как известно, приносит пользу благодаря экономии природных ресурсов при производстве сырья и материалов, а также позволяет снизить вредное влияние отходов на экологию [7].

Одной из задач строительной индустрии, для более полного использования их в производстве строительных материалов, является автоматизированная сортировка, основанная на идентификации составляющих строительного мусора. В настоящее время различные фирмы производят машины для размельчения мусора, извлечения из него металлических и деревянных частей, а также изготавливают устройства для автоматического контроля и сортировки сыпучих материалов (одна из разновидностей которых — строительные отходы) [8].

Недостатком подобных устройств является невысокая степень их распознавания и сортировки, когда строительный мусор имеет множество фракций, часть которых близка по структуре и цвету. Для более точной идентификации необходимо использование дополнительных определяющих признаков, которыми могут служить спектры отражений и поглощений светового излучения строительными материалами.

На рис. 5 представлены спектральные зависимости коэффициентов отражения некоторых типовых строительных материалов [9].

Анализ спектров показывает, что в видимом диапазоне света коэффициенты отражения некоторых материалов существенно различаются (кирпич, гипс, асфальт), а некоторые (гранит, бетон) схожи, что значительно снижает вероятность их распознавания. Линии поглощения излучения, которые могут быть использованы в качестве идентификационного признака, расположены преимущественно в области 1,3—2,5 мкм.

Наиболее сложно определять подклассы материала (например, пористый бетон, легкий бетон, газобетон и т.д.), спектры у которых в видимой области расположены еще ближе, а спектральные линии поглощения располагаются очень плотно в области 1,3—2,5 мкм [10].

Таким образом, при утилизации строительных материалов представляется целесообразным создание устройства для идентификации фракций строительного мусора на комплексной основе: как на анализе формы, структуры и цвета полученного изображения фракций, так и

на анализе спектров отражения, полученных от фракций в видимой и инфракрасной областях излучения.

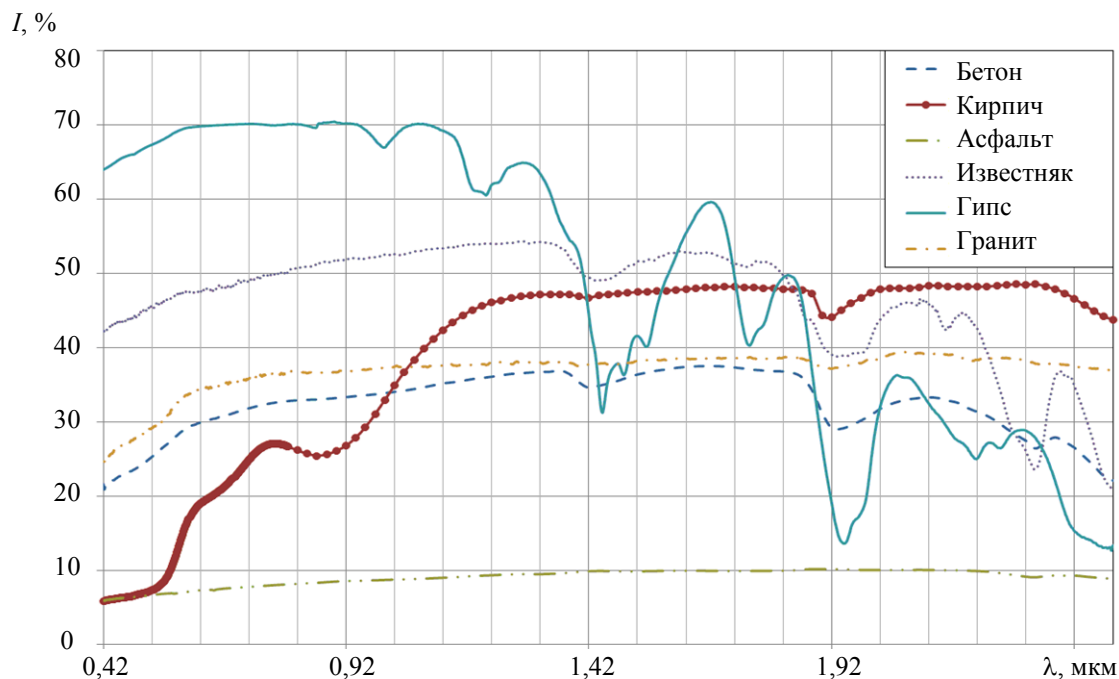


Рис. 5

В настоящее время в Техническом университете Ильменау проводятся работы по повышению степени достоверности комплексной идентификации подклассов строительных материалов. Создан макет устройства для идентификации, функциональная схема которого представлена на рис. 6. Поступающий на конвейер 1 из накопителя размельченный строительный мусор 2 согласно компьютерному алгоритму идентифицируют с помощью видеокамеры 3, спектрометра 4, по форме, структуре, цвету и спектру отражения. Падающие с конвейера фрагменты сортируют, используя воздушные струи.

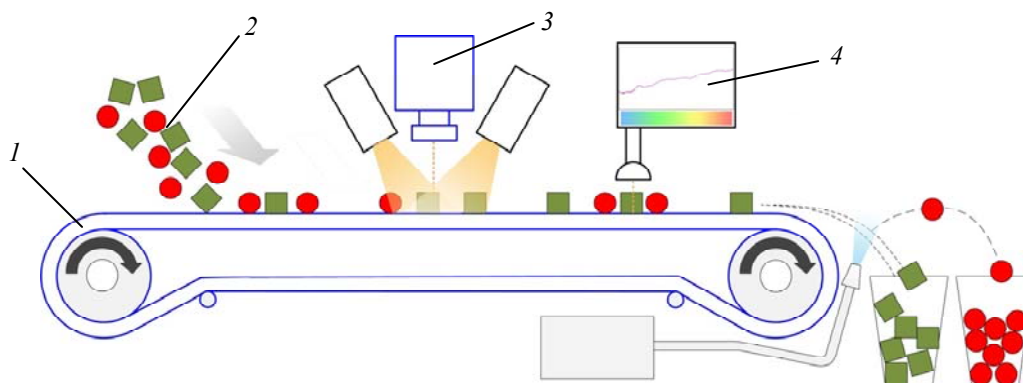


Рис. 6

Выводы. Оптические методы идентификации и контроля качества веществ и материалов, основанные на анализе изображения и (или) спектральных характеристик объектов, обладают рядом преимуществ перед другими методами (механическими, электрическими, химическими и пр.) обладают высокими быстродействием и достоверностью, могут быть использованы в различных областях научно-технической и хозяйственной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Светлов В. А., Козлов С. П.* Опасности и осложнения центральных сегментарных блоков // Анестезиология и реаниматология. 2000. № 5. С. 82.
2. *Latyev S. M., Shpakov D. V., Egorov A. G., Chugunov S. A., Volchkov V. A.* Identifying biological tissues by means telecommunication Microsystems // J. of Optical technology. Vol. 78, Iss. 1. P. 66—69.
3. *Воронин А. А., Смирнова Е. В., Смирнов А. П.* К вопросу идентификации пород древесины с применением методов анализа спектров // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2010. № 2(66). С. 5—11.
4. *Strecker M.* Entwicklung einer Führungsvorrichtung und Bildaufnahmeeinheit für kleine, bewegte Objekte. Fachgebiet Qualitätssicherung. Technische Universität Ilmenau, 2006.
5. *Anding K.* Automatisierte Qualitätssicherung von Getreide mit überwachten Lernverfahren in der Bildverarbeitung. Dissertation (Dr.-Ing.). Ilmenau: Verlag ISLE, 2010. 235 s.
6. *Anding K., Brückner P., Linß G.* Influence of Dataset Character on Classification Performance of Support Vector Machines for Grain Analysis, Artificial Intelligence and Applications. Innsbruck, Austria, 2010.
7. Mineralische Bauabfälle Monitoring 2010. Arbeitsgemeinschaft Kreislaufwirtschaft Bau (KWB). 2013. S. 8—12.
8. *Wotruba H.* Stand der Technik der sensorgestützten Sortierung // BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. 2008. Bd 153, N 6. S. 221—224.
9. *Clark R. N., Swayze G. A., Wise R., Livo E., Hoefen T., Kokaly R., Sutley S. J.* USGS digital spectral library. U.S. Geological Survey, 2007.
10. *Linß E., Anding K., Schnellert T., Ludwig H.-M.* Identification of Construction and Demolition Waste by Using Image Processing in the Visual and Near-infrared Spectrum, and Machine Learning Methods. Ibausil, 2012.

Сведения об авторах

- Святослав Михайлович Латыев** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; заведующий кафедрой; E-mail: latyev@grv.ifmo.ru
- Андрей Анатольевич Воронин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов
- Катарина Андинг** — канд. техн. наук; Технический университет Ильменау, кафедра контроля качества; научный сотрудник
- Элке Линц** — канд. техн. наук; Университет Баухаус, Веймар, Германия; руководитель научной лаборатории
- Петр Анатольевич Курицын** — аспирант; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; Технический университет Ильменау, кафедра контроля качества

Рекомендована кафедрой
компьютеризации и проектирования
оптических приборов

Поступила в редакцию
26.04.13 г.