

УДК 535.33:543.42

ДИСТАНЦИОННАЯ ЛАЗЕРНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТИПА  
СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

В.А. Трофимов, М.А. Беляева

Изложены особенности волоконно-оптического способа дистанционной идентификации типа материала с использованием волоконного иттербиевого лазера, продемонстрирована возможность определения типа основных строительных материалов по спектрограммам плазменного факела, возникающего при воздействии лазерного излучения на поверхности исследуемых материалов, проанализирована возможность автоматизации процесса идентификации.

**Ключевые слова:** строительный материал, эмиссионный спектральный анализ, плазменный факел, идентификация, автоматизация.

## Введение

Высокая энергетическая плотность лазерного излучения позволяет использовать его для таких целей, как резка, сверление, сварка, маркировка материалов и т.д. [1]. При этом указанные операции выполняются в условиях отсутствия прямого доступа к точке взаимодействия лазерного излучения с объектом. Такая ситуация типична при дистанционной обработке строительных материалов в труднодоступных местах. В этом случае может возникнуть необходимость определения типа обрабатываемого в данный момент материала, так как от этого может зависеть выбор режимов воздействия лазерного излучения на материал.

Одним из способов определения типа строительного материала, обрабатываемого лазерным излучением, может являться эмиссионный спектральный анализ плазменного факела, возникающего в зоне взаимодействия излучения с поверхностью материала. Такое исследование позволяет получить необходимую информацию о возбужденных лазерным излучением атомах и молекулах вещества. По характеру спектров и наличию тех или иных спектральных линий и полос, а также по количественному соотношению максимумов интенсивности на спектрограммах различных образцов можно судить о принадлежности исследуемого материала к соответствующему типу [2, 3].

Особый интерес представляет возможность выполнения такого рода исследований дистанционно, а также в ходе процесса обработки материала лазерным излучением.

## Дистанционная лазерная спектроскопия

Для исследований использовалась волоконно-оптическая схема, представленная на рис. 1.

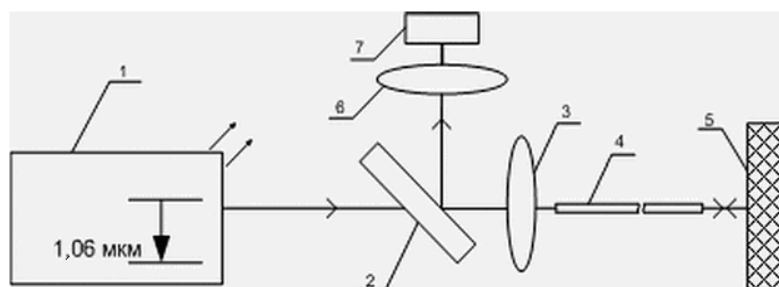


Рис. 1. Схема экспериментального комплекса: 1 – иттербиевый волоконный лазер; 2 – светоделительная пластина; 3 – линза ввода силового излучения; 4 – оптическое волокно; 5 – фрагмент материала; 6 – фокусирующая линза; 7 – спектроанализатор

Излучение, формируемое лазером 1, фокусируется линзой 3 на входной торец оптического волокна 4 и передается к поверхности строительной конструкции 5. В результате воздействия лазерного излучения в месте обработки материала наблюдается интенсивное свечение, обусловленное возникновением плазменного факела, в котором содержатся пары веществ, входящих в состав материала. Образующееся излучение, проходя обратно по волокну через линзу ввода 3 и светоделительную пластину 2, фокусируется линзой 6 с фокусным расстоянием 150 мм на щель спектроанализатора 7 типа Wavestar CCD Spectrometer, ф. Ophir, ширина щели которого составляет 5 мкм, разрешение – 0,5 нм.

В качестве источника в проведенных исследованиях использовался непрерывный иттербиевый волоконный лазер, генерирующий излучение с длиной волны 1064 нм. На поверхность материалов подавалось излучение мощностью 1 кВт и экспозицией 10 мс. Для исследований использовалось волокно длиной 30 м с кварцевой сердцевиной и кварцевой оболочкой, диаметр кварцевой сердцевины составлял 400 мкм, апертура – 0,2. Расстояние от торца волокна до поверхности материала составляло 10 мм.

Регистрация спектров испускания веществ, входящих в состав строительных материалов, осуществлялась в диапазоне 570–1100 нм в течение 1–2 с после возбуждения.

Анализ спектрограмм, усредненных по 25 измерениям для каждого образца, показал, что для исследуемых типов материалов наиболее информативным является диапазон длин волн 600–900 нм (рис. 2). В области спектра 940–1100 нм в регистрируемом сигнале наблюдается интенсивное лазерное излучение, а наиболее коротковолновая область спектра 540–600 нм характеризуется интенсивной шумовой составляющей, существенно снижающей отношение сигнал/шум.

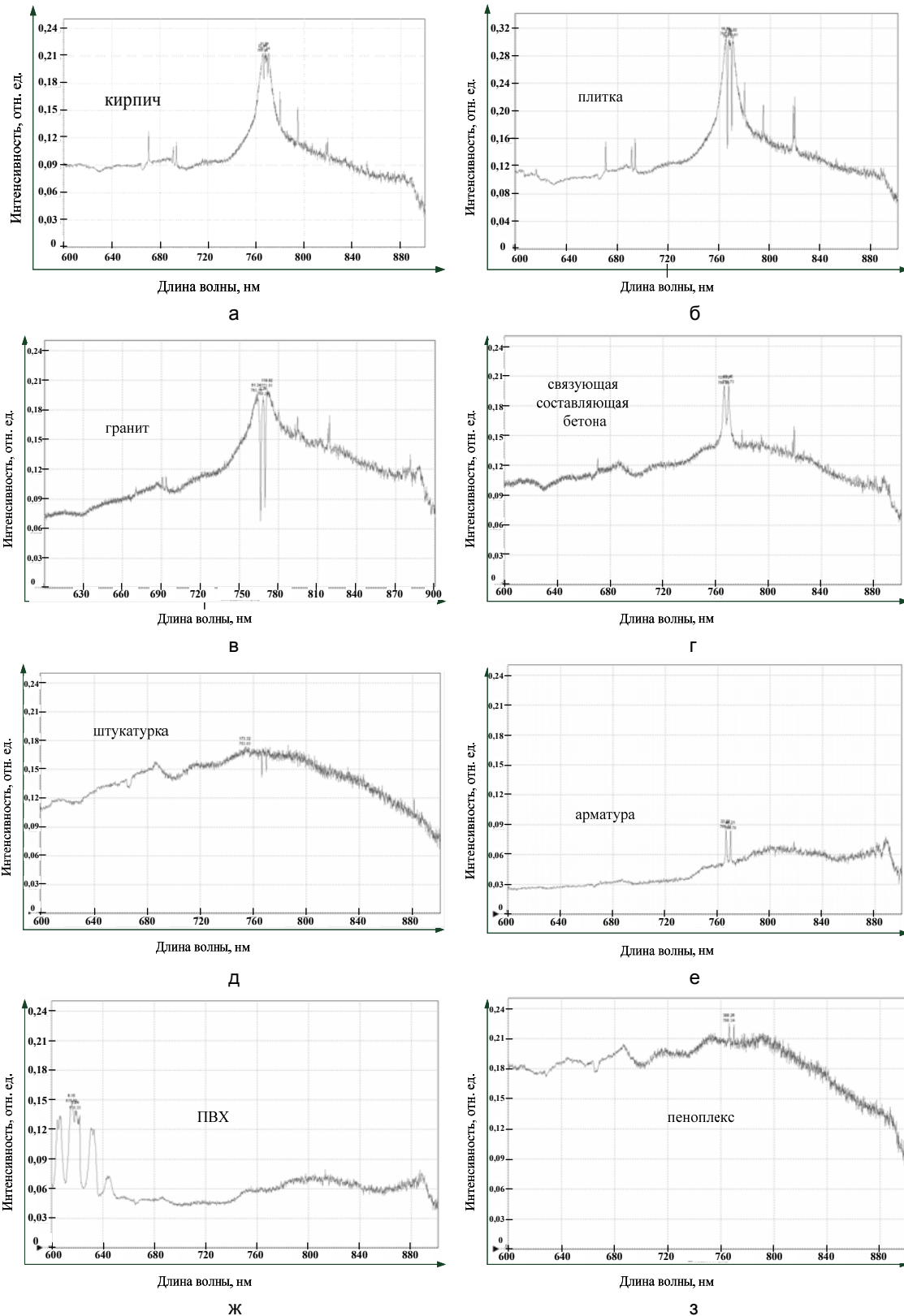


Рис. 2. Спектрограммы материалов при их обработке лазерным излучением (а–з)

Представленные результаты позволяют сделать заключение, что профили большей части приведенных спектрограмм различны и специфичны для соответствующих типов материалов, так например:

- спектрограмма арматуры (рис. 2, е) довольно малоинтенсивна;
- спектрограмма стеновой панели на основе ПВХ (рис. 2, ж) имеет характерные для этого материала спектральные полосы в районе 600–648 нм;
- в спектрограмме штукатурки (рис. 2, д) наблюдаются выраженные полосы самопоглощения в районе 764–772 нм;
- связующую составляющую бетона (рис. 2, г) можно определить по наличию линий в районе 780, 794, 819 нм;
- спектрограмма пеноплекса (рис. 2, з) отличается ярким плазменным факелом и резким убыванием интенсивности спектра в диапазоне длин волн 800–900 нм;
- кирпич, плитку керамическую и гранит (рис. 2, а–в) можно идентифицировать по соотношению интенсивности линий в районе 770, 795, 819 нм.

Таким образом, представленная выше информация позволяет сделать вывод о возможности использования дистанционного метода лазерной спектроскопии для идентификации типа строительного материала.

### Автоматизация идентификации типа строительных материалов

Широкая номенклатура типов строительных материалов ставит задачу автоматизации их дистанционной идентификации. Автоматизация может способствовать как сокращению времени проведения анализа, так и снижению требований к квалификации оператора. Для автоматизации процесса определения типа материала разработано программное обеспечение, предназначенное для автоматической компьютерной обработки результатов спектрального анализа плазменного факела, возникающего в зоне обработки материала под воздействием лазерного излучения.

В основу разработанной программы положено создание базы эталонных спектрограмм материалов и сравнение с ними спектрограммы исследуемого материала по определенным критериям.

Программа содержит три основные закладки:

1. «Заполнение эталонной базы»;
2. «Просмотр и редактирование эталонной базы»;
3. «Идентификация материала».

В первой программной закладке «Заполнение эталонной базы» обеспечивается формирование библиотеки эталонных спектрограмм материалов (рис. 3). Указанная закладка позволяет создавать базы спектрограмм, характерные для различных типов материалов и полученные при определенных условиях воздействия лазерного излучения на эти материалы.

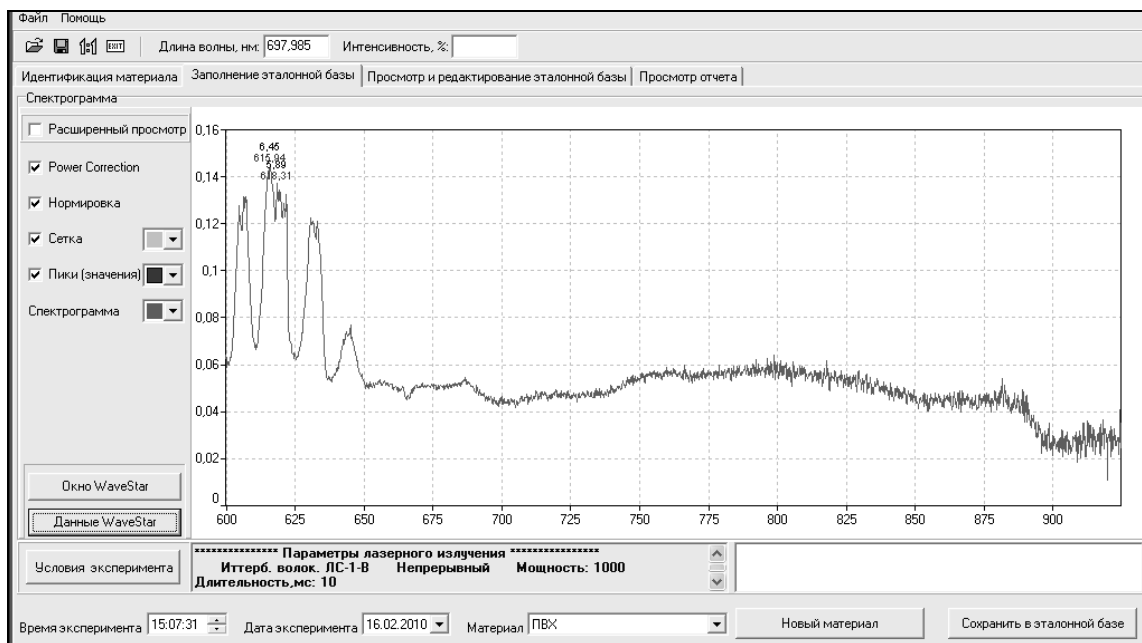


Рис. 3. Окно программы для заполнения эталонной базы (с снятой спектрограммой панели стеновой ПВХ)

Получение эталонной спектрограммы может осуществляться двумя способами:

- при помощи загрузки файла спектрограммы, ранее созданного программой и записанного в текстовом формате;
- непосредственным получением данных со спектроанализатора.

В этой закладке пользователь имеет возможность:

- просматривать спектрограмму с наложением сетки;
- просматривать спектрограмму с указанием значений пиков;
- оптимизировать отображение спектрограммы по шкале интенсивности с применением нормировки;
- разворачивать картину спектрограммы на полную страницу;
- изменять цвета спектрограммы, спектральных максимумов или сетки;
- изменять масштаб отображения спектрограммы по шкале длин волн;
- просматривать значения отдельного пика в окне на панели инструментов;
- сохранять полученную спектрограмму в базе данных совместно с условиями эксперимента, временем и датой получения, названием материала, уникальным номером спектрограммы и комментариями пользователя.

Условия проведенного эксперимента фиксируются в соответствующем окне (рис. 4), которое позволяет заполнить параметры воздействующего на материал лазерного излучения, условия, в которых происходит обработка материала, а также параметры и режимы работы спектроанализатора.

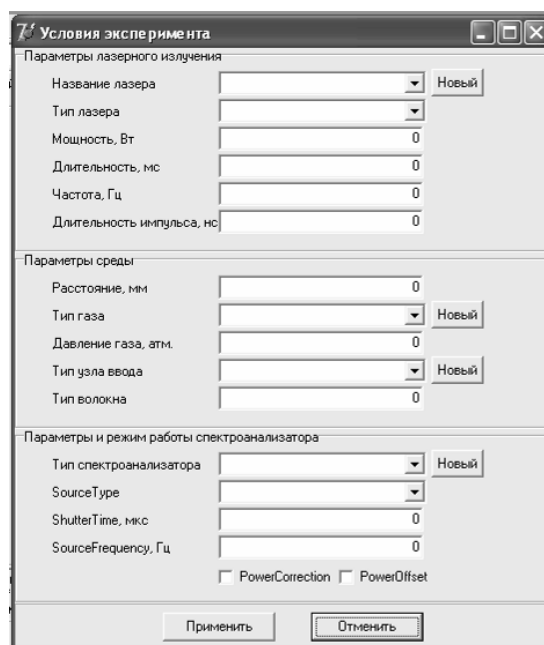


Рис. 4. Окно «Условия эксперимента»

Запись о материале, которому принадлежит полученная спектрограмма, производится в окне «Материал» (рис. 3).

Время эксперимента и дата заполнения ставятся автоматически.

В закладке «Просмотр и редактирование эталонной базы» (рис. 5), помимо функций режима «Заполнение эталонной базы», для пользователя предусмотрены следующие возможности:

- просматривать краткую характеристику условий эксперимента;
- просматривать дополнительные комментарии к данному эксперименту;
- просматривать и редактировать всю информацию об условиях получения спектрограммы;
- удалять спектрограммы после их выбора.

В режиме просмотра и редактирования эталонной базы пользователь может вызывать нужную спектрограмму, отбирая ее по следующим параметрам:

- дате получения спектрограммы;
- типу материала;
- условиям проведения эксперимента.

В третьей закладке «Идентификация материала» (рис. 6) обеспечивается сравнительный анализ исследуемой спектрограммы с эталонными, выбранными из базы данных. Выбор эталонных спектрограмм, с которыми осуществляется сравнение, проводится путем ввода условий эксперимента или по дате внесения эталонной спектрограммы в базу.

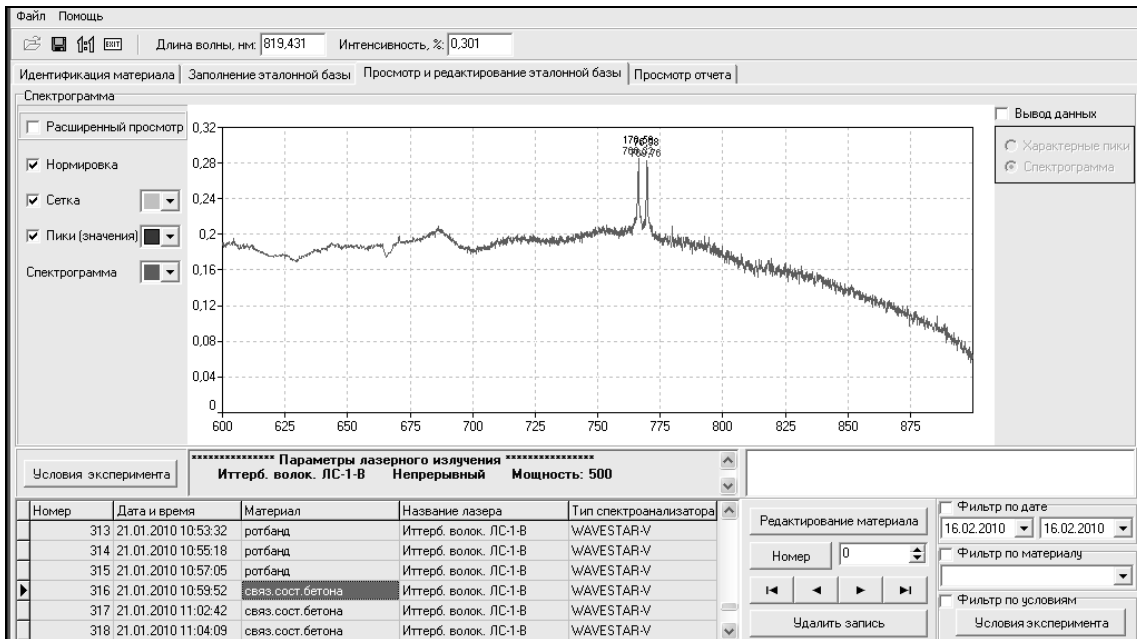


Рис. 5. Окно просмотра и редактирования базы эталонных спектрограмм

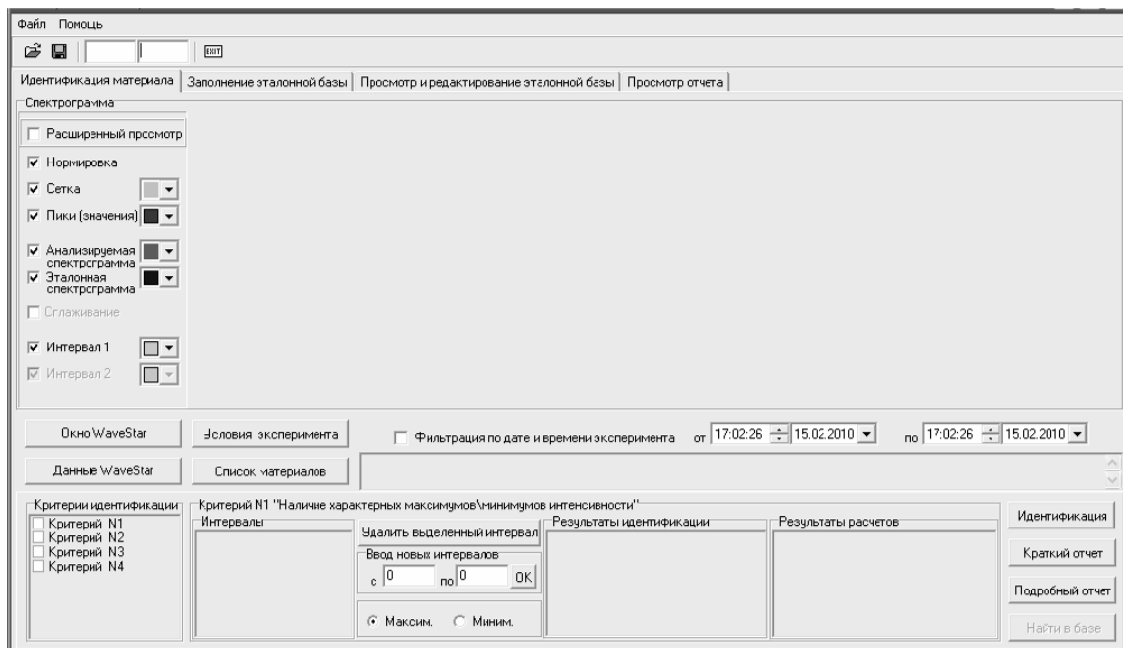


Рис. 6. Окно для идентификации материала

Для осуществления идентификации материала необходимо выполнить следующую последовательность действий.

1. Получить исследуемую спектрограмму.
2. Задать список материалов, по эталонным спектрограммам которых будет производиться идентификация. При этом выбор эталонных спектрограмм, с которыми будет проводиться сравнение, осуществляется с помощью фильтров. Спектрограммы в эталонной базе могут быть отфильтрованы как по дате и времени эксперимента, так и по условиям проведения эксперимента.
3. Указать используемые для идентификации критерии и спектральные интервалы и произвести по ним идентификацию.

Сравнительный анализ может осуществляться по четырем критериям, которые выбираются в опции «Критерии идентификации»:

- наличию характерных максимумов (минимумов) интенсивности в определенном (одном или нескольких) спектральном диапазоне (критерий №1);
- интегральному значению интенсивности в выбранном (одном или нескольких) спектральном диапазоне (критерий №2);

- отношению интегральных значений интенсивности в определенной паре (одной или нескольких) спектральных диапазонов (критерий №3);
- характеру поведения спектрограммы (убывание – возрастание) в определенном (одном или нескольких) спектральном диапазоне (критерий №4).

Программа позволяет осуществлять анализ спектрограммы и выдавать результат сравнения по каждому критерию отдельно. Результат анализа появляется в окне «Результат идентификации» и заключается в указании 10 спектрограмм (с названием материалов), которым наиболее полно соответствует полученная спектрограмма.

В процессе эксплуатации программы в эталонную базу было занесено по 25 спектрограмм для 15 материалов. После анализа спектрограмм по критериям идентификации в определенных интервалах длин волн все заложенные материалы прошли успешную идентификацию.

### **Заключение**

В результате выполненной работы:

- установлена возможность использования волоконно-оптической технологии регистрации спектрограмм для дистанционной идентификации строительных материалов;
- разработано программное обеспечение для автоматической обработки результатов спектрального анализа плазменного факела, возникающего в зоне обработки строительного материала под воздействием лазерного излучения.

Выделим достоинства такого способа. Использование одноволоконной схемы построения эксперимента, при которой подача лазерного излучения и перенос информации о плазменном факеле к спектрометру осуществляется по одному и тому же волокну, позволяет проводить идентификацию типа материала без прерывания процесса лазерной обработки. Кроме того, данная схема исследования требует минимального дополнительного технологического оснащения (спектроанализатор, фокусирующая линза и персональный компьютер).

Развитие рассмотренного способа автоматической идентификации типа материала может быть направлено на усовершенствование пакета программного обеспечения для спектроанализатора, а также на увеличение библиотеки идентифицируемых материалов.

### **Литература**

1. Беккер Ю. Спектроскопия. – М.: Техносфера, 2009. – 528 с.
2. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. – М.: Наука, 1976. – 392 с.
3. Терек Т., Мика Й., Гегуш Э. Эмиссионный спектральный анализ: В 2-х частях. – Ч. 2. – М.: Мир, 1982. – 850 с.

- Беляева Мария Александровна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, BelyaevaMarya@mail.ru
- Трофимов Владимир Анатольевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, troftu@mail.ru