

**В.И. Мордасов,  
Н.А. Сазонникова**

Самарский государственный  
аэрокосмический университет  
Московское шоссе, 34,  
г. Самара, Российская Федерация,  
443086  
nasazonnikova@yandex.ru

**Д.Н. Гребнев**

ОАО «РКЦ «Прогресс»  
ул. Земеца, д.18, г. Самара,  
Российская Федерация, 443009  
mail@progress.samara.ru

## **ЛАЗЕРНО-ВИБРАЦИОННАЯ ДЕФЕКТСОКОПИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ ОБОЛОЧЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ**

*Композиционные материалы, обладающие уникальным комплексом физико-механических характеристик, все шире применяются в аэрокосмической промышленности. Поскольку традиционные способы выявления дефектов не всегда оказываются достаточно производительными и чувствительными, актуальной задачей является разработка методов и средств контроля изделий из композиционных материалов. Целесообразно использовать методы виброакустической диагностики, которая позволяет не только обнаружить дефекты, но и распознавать их. Для исключения дрейфа рабочих характеристик измерительной системы и повышения её чувствительности целесообразно совмещение функций источника излучения и приемника в одном элементе при использовании автодинной системы на основе полупроводникового лазера. Использование высших спектральных гармоник автодинного сигнала позволяет определять расстояния до объекта и амплитуду перемещений и вибраций.*

**Ключевые слова:** многослойная сотовая оболочка, дефекты внутренней структуры, лазерно-вибрационный метод; автодинный сигнал

### **1 Введение**

Композиционные материалы, обладающие уникальным комплексом физико-механических характеристик, все шире применяются в различных отраслях промышленности, особенно в аэрокосмической. Композиты, обладающие высокими прочностными свойствами, позволяют сочетать низкую плотность и высокие прочностные характеристики материала, что обеспечивает более высокие характеристики удельной прочности по сравнению с некомпозиционными материалами [1], [2].

В отличие от однородных материалов, композиты обладают сложной гетерогенной структурой, разными свойствами сотового наполнителя и обшивки, большим количеством границ раздела слоев и связующего материала. Наличие столь сложной структуры, с одной стороны, позволяет достигать высоких

эксплуатационных свойств, с другой стороны, обуславливает необходимость контроля ее состояния из-за наличия повреждений и дефектов. Несмотря на наличие большого числа современных методов на эксплуатирующихся предприятиях сотовые конструкции (СК) контролируются преимущественно при помощи метода свободных колебаний (простукивание изделия с регистрацией изменений характера звука на слух). Это связано с тем, что новейшие средства неразрушающего контроля (НК) требуют как значительных финансовых затрат, связанных с их приобретением, так и существенно увеличивают трудоёмкость выполняемых работ. В связи с этим современные средства используются лишь для уточнения размеров дефектов при ремонте.

Ранее была показана возможность применения лазерно-вибрационного метода для выявления дефектов сотовых

конструкций (СК) по результатам измерения параметров вибрационного процесса [3].

Цель данной работы – показать возможность использование автодинной системы с полупроводниковым лазером для определения амплитуды перемещений и вибраций поверхностей, а также для лазерно-вибрационной дефектоскопии многослойных сотовых конструкций и обосновать возможность определения параметров вибрации по результатам проведенных измерений.

## **2 Анализ существующих методов контроля. Требования к методу**

В настоящее время выявление или пропуск дефекта СК полностью зависит от личных способностей персонала проводящего оперативный контроль воздушного судна, т.е. регламентируется человеческим фактором.

Для эффективного решения задач прогнозирования технического состояния (ТС) и остаточного ресурса систем, повышения их долговечности актуальными являются: совершенствование методов и средств НК контроля ТС; автоматизация сбора, обработки и хранения эксплуатационной информации; разработка и ведение базы данных мониторинга ТС систем; формирование перечня критичных с точки зрения надежности элементов исследуемых систем для контроля; детальная проработка перечня контролируемых параметров, мест, методов и технологий измерений, приборов для контроля и их класс точности, периодичность контроля [4], [5].

Поскольку традиционные способы выявления дефектов (например, ультразвуковой) не всегда оказываются достаточно производительными и чувствительными, а, кроме этого, требуют обеспечения всестороннего доступа ко всем частям изделий, актуальной задачей является

разработка методов и средств контроля изделий из композиционных материалов. Недостатками ультразвукового контроля являются: необходимость использования контрольных образцов с заранее смоделированными дефектами; субъективность определения границ и размеров дефекта, связанных с субъективностью и квалификацией инженера - дефектоскописта; ограниченность метода при контроле углеродсодержащих КМ вследствие сложности аппаратурного разрешения отраженных от различных границ раздела компонентов эхо-сигналов; ограниченная производительность измерений.

Методы неразрушающего контроля изделий из углеродсодержащих композиционных материалов должны соответствовать следующим требованиям [1-4]:

- требуемая информативность о наличии дефектов (поверхностных и глубинных);
- определение вида дефектов и повреждений (трещины, каверны (пустоты), расслоения, инородные включения и т.д.);
- определение координат, размеров, глубины залегания дефектов.

Значительный интерес представляют оптические методы контроля, благодаря бесконтактному получению первичной информации и возможности проводить измерения *in situ* в процессе нагружения. Так, например, с помощью метода корреляции цифровых изображений, наблюдая за изменениями поверхности, рассчитываются поля векторов перемещений. Далее получают компоненты деформации и рассчитывают не только количественную информацию (величину интенсивности деформации в расчетной области), но и качественную (распределения деформации в этой области).

Расширить возможности контроля можно путем совместной регистрации данных методов на основе разных физических принципов. Так, например, в коллективе под

руководством профессора Степановой Л.Н. (СибНИА им. С.А. Чаплыгина) для экспериментальных исследований деформации и разрушения элементов конструкций совместно применяют методы акустической эмиссии (АЭ) и тензометрии. В ИМСС УрО РАН в группе профессора Наймарка О.Б используется комбинирование АЭ и термометрии. В ИМАШ УрО РАН в группе под руководством академика Э.С. Горкунова применяются магнитные методы и тензометрия и т.д. [1], [4]

В работе [3] на основании исследований ряда авторов было установлено, что при появлении отслоений в сотовых конструкциях коэффициент демпфирования будет увеличиваться, а собственная частота колебаний - снижаться. Поэтому было предложено для обнаружения отслоения сотовых использовать комплексный параметр в виде отношения величины коэффициента демпфирования  $\xi$  и собственной частоте системы  $\omega$ , который можно записать в виде

$$K = \frac{\xi}{\omega} \quad (1)$$

Критерием оценки состояния СК будет являться превышение данным параметром максимально допустимой величины:

$$K < [K],$$

$K < [K]$  где  $[K]$  – максимально допустимое значение комплексного параметра.

Для выявления дефекта необходимо оценить амплитуду и частоту выходного сигнала преобразователя после возбуждения колебаний. С точки зрения получения информации задачу можно классифицировать как оценку неслучайных параметров сигнала на фоне шума. В качестве опорной функции можно использовать занесенный в память усредненный сигнал, соответствующий бездефектной зоне объекта контроля [2].

Приборы, принцип действия которых основан на измерении акустической эмиссии, имеют низкий уровень отношения сигнал/шум, а оптические интерференционные системы характеризуются дрейфом рабочих точек. Поэтому используют методы виброакустической диагностики, которая позволяет не только обнаружить дефекты, но и распознавать их. В основе лазерной виброакустической диагностики лежит явление модуляции упругими волнами оптического сигнала.

### 3 Теоретическая часть

Для исключения дрейфа рабочих характеристик измерительной системы и повышения её чувствительности целесообразно совмещение функций источника излучения и приемника в одном элементе. Реализовать эту возможность позволяет эффект обратной связи, характерный для полупроводниковых лазеров [6], [7].

Работу полупроводникового лазера с внешней оптической обратной связью можно описать в рамках модели составного резонатора. В этой модели считается, что грань лазера, из которой выходит излучение, и внешний отражатель (внешнее зеркало), который возвращает свет в активную область, образуют (внешний) резонатор Фабри – Перо, который оптически связан с лазерным резонатором через его выходное зеркало и образует вместе с ним составной резонатор. Коэффициент отражения собственных зеркал полупроводникового лазера мал (порядка 0,3). Длина его резонатора гораздо меньше, чем в лазерах других типов (порядка нескольких сотен микрометров), и потому даже при слабом отражении от внешнего зеркала роль внешней оптической обратной связи становится заметной.

В данном случае на величину оптоэлектронного сигнала существенное влияние оказывают степень когерентности собственного излучения лазерного диода и отраженного поверхностью излучения, поляризация и деполяризация отраженного от контролируемой поверхности излучения в зависимости от структуры поверхности, величины и формы микронеровностей, величины напряжений в поверхностном слое. Измерение оптоэлектронного сигнала также позволяет определять характеристики среды в составном резонаторе. Если влияние среды необходимо минимизировать, целесообразно применение схемы датчиков, использующих одномодовый волоконный световод для зондирования поверхности. В этом случае выходной торец волокна располагается вблизи контролируемой поверхности.

При выявлении внутренних дефектов (непроклей, нарушение сплошности, зажививание) используются вибраторы колебаний, один находится с наружной стороны исследуемой поверхности в зоне расположения отражающего зеркала. Второй установлен с внутренней стороны оболочки. Он создает колебания всех участков оболочки головного обтекателя ракеты-носителя

При проведении дефектоскопии внутренней структуры многослойной сотовой оболочки величина оптоэлектронного сигнала будет зависеть от следующих параметров: отражательной способности контролируемой поверхности, расстояния от внешнего зеркала лазерного диода до контролируемой поверхности, оптических свойств среды в составном резонаторе (поглощение, рассеяние и др. процессы). Закономерности изменения отражательной.

Ранее был описан метод определения расстояния до объекта по отношению двух спектральных составляющих автодинного сигнала полупроводникового лазера с

гармонической модуляцией длины волны излучения посредством частотной модуляции тока накачки лазерного диода [6]. Однако, использование только одной измеряемой величины – отношения двух спектральных составляющих, может приводить к высокой погрешности измерения, обусловленных как влиянием уровня внешней оптической обратной связи, так и областью неоднозначности функций Бесселя, используемых в соотношениях для определения расстояния до объекта.

Работу полупроводникового лазера с внешней оптической обратной связью можно описать в рамках модели составного резонатора, который изображен на рисунке 1. В этой модели считается, что грань лазера, из которой выходит излучение, и внешний отражатель, который возвращает свет в активную область (в дальнейшем будем называть его "внешним" зеркалом), образуют (внешний) резонатор Фабри – Перо, который оптически связан с лазерным резонатором через его выходное зеркало и образует вместе с ним составной резонатор.

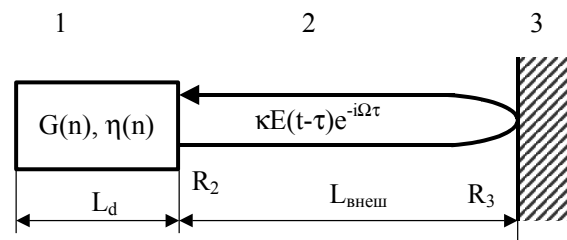


Рисунок 1. Составной резонатор. 1 – резонатор полупроводникового лазера, 2 – внешний резонатор, 3 – внешнее зеркало

Пусть электрическое поле внутри лазерного резонатора имеет вид  $E(t)\exp\{i\Omega t\}$ , а концентрация носителей, создаваемая в активной области, равна  $n$ .

Будем считать, что коэффициент отражения внешнего зеркала достаточно мал и многократными отражениями во внешнем резонаторе можно пренебречь, тогда поведение лазера с таким составным

резонатором можно описать следующими уравнениями:

$$\frac{d}{dt}E(t) = \left\{ i[\omega(n) - \Omega] + \frac{1}{2}[G(n) - \Gamma] \right\} E(t) + \kappa E(t - \tau) e^{-\alpha \tau} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt}n = -\gamma n - G(n)|E(t)|^2 + P \quad (3)$$

Здесь  $\Omega$  – частота генерации,  $\omega$  – одна из резонансных частот собственного резонатора лазерного диода,  $G$  – коэффициент усиления моды. Величина  $G$ , естественно, является функцией концентрации носителей  $n$ . Частота  $\omega$  также есть функция величины  $n$ , поскольку показатель преломления активной области зависит от концентрации носителей. Коэффициент  $\gamma$  – это обратное время жизни носителей, обусловленное спонтанной рекомбинацией ( $\approx 10^9$  с<sup>-1</sup>),  $\Gamma$  – потери в резонаторе ( $\approx 10^{11}$  с<sup>-1</sup>), а  $P$  – число носителей, инжектируемых в единицу объема за единицу времени,  $\gamma$  – величина, пропорциональная току инжекции. Заметим, что выражение в фигурных скобках имеет тот же вид, что и для обычного лазера без внешнего резонатора.

Вклад от возврата части излучения описывает второй член в правой части уравнения (2). В нем  $\tau$  – время обхода внешнего резонатора,  $\kappa$  – параметр, характеризующий степень связи между внешним и лазерным резонаторами и определяющийся выражением

$$\kappa = (1 - R_2)(R_3 / R_2)^{1/2} c / (2\eta L_d) \quad (4)$$

где  $R_2$  и  $R_3$  – соответственно коэффициенты отражения от внешнего зеркала и обращенной к нему грани лазера, а  $L_d$  и  $\eta$  – соответственно длина и показатель преломления резонатора диодного лазера. Коэффициент отражения собственных зеркал полупроводникового лазера мал (порядка 0,3), к тому же длина его резонатора гораздо меньше, чем в лазерах других типов (порядка нескольких сотен микрометров), и потому даже при слабом отражении от внешнего зеркала значение  $\kappa$  велико, вследствие чего

роль внешней оптической обратной связи становится заметной.

В случае линейной зависимости коэффициента усиления  $G$  и показателя преломления  $\eta$  от концентрации  $n$  из уравнений (2) и (3) можно вывести следующие соотношения для стационарной частоты  $\Omega$  и порогового значения коэффициента усиления  $G_{\text{пор}}$  (или пороговой концентрации носителей):

$$\omega_0 = \Omega + \kappa \sin(\Omega \tau) + \kappa \alpha (1 - \cos \Omega \tau) \quad (5)$$

$$G_{\text{пор}} = G(n_{\text{пор}}) = \Gamma - 2 \cos(\Omega \tau) \quad (6)$$

Здесь  $\omega_0$  – собственная частота резонатора полупроводникового лазера, а величина  $\alpha$  – отношение изменения показателя преломления к изменению коэффициента усиления на длине  $\lambda/4\pi$ , обусловленных вариацией концентрации носителей:

$$\alpha = (2\omega/\eta) \frac{\partial \eta}{\partial n} / \frac{\partial G}{\partial n} \quad (7)$$

В газовых и других типах лазеров величина  $\alpha$  обычно настолько мала, что ею можно пренебречь по сравнению с единицей, однако в полупроводниковых лазерах на основе GaAs и InGaAsP величина, а по экспериментальным оценкам лежит в пределах от -1 до -7. Это связано с тем, что вблизи спектрального максимума усиления кривая дисперсии показателя преломления имеет характерную асимметрию. Таким образом, большое абсолютное значение параметра  $\alpha$  является дополнительной причиной сильного влияния внешней оптической обратной связи в полупроводниковых лазерах.

Осциллирующие члены, входящие в выражения (5) и (6), описывают интерференцию волн, отраженных собственным зеркалом (сколотой гранью кристалла) и внешним отражателем.

Блок-схема экспериментальной установки для измерения оптоэлектронного сигнала показана на рисунке 2. Излучение от источника света 1 с помощью

микрообъектива 2 фокусировалось на исследуемую поверхность 4 таким образом, чтобы отраженный свет попадал обратно в активную область лазерного диода.

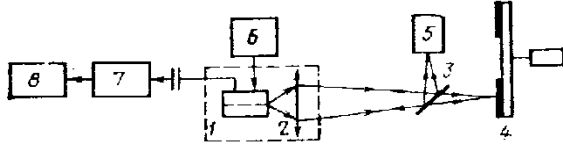


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки для исследования электрического, оптического откликов полупроводникового лазера на внешнюю оптическую обратную связь: 1 – лазерный диод; 2 – микрообъектив; 3 – полупрозрачная пластина; 4 – исследуемая поверхность; 5 – фотодиод; 6 – блок питания постоянного тока; 7 – широкополосный усилитель; 8 – осциллограф

Микроперемещением объектива и лазера друг относительно друга достигалось такое взаимное расположение диода, микрообъектива и зеркала, когда величина внешней обратной связи была максимальной. Оптоэлектронный сигнал определялся как амплитуда импульсов напряжения, возникающих на диоде. Сигнал усиливался усилителем 7 и наблюдался на осциллографе 8. Критерием настройки на максимум величины внешней обратной связи служило достижение максимального значения оптоэлектронного сигнала при юстировке системы.

Для описания низкочастотного спектра автодинного сигнала при гармонической модуляции длины волны излучения лазерного диода мощность автодинного сигнала может быть представлена в виде разложения в ряд по функциям Бесселя и в ряд Фурье [6], [7].

Вводя коэффициенты  $C_{2n}$ ,  $C_{2n+1}$ , равные по модулю четным и нечетным спектральным составляющим сигнала ряда Фурье и определяемые как:

$$C_{2n} = \sqrt{a_{2n}^2 + b_{2n}^2},$$

$$C_{2n+1} = \sqrt{a_{2n+1}^2 + b_{2n+1}^2},$$

можно получить соотношения характеризующие связь спектральных составляющих частотномодулированного автодинного сигнала с функциями Бесселя первого рода:

Для четных  $n$ :

$$C_{2n} = \sin(\theta) I_2(J_{2n-1}(\sigma) - J_{2n+1}(\sigma)),$$

Для нечетных  $n$ :

$$C_{2n+1} = \cos(\theta) I_2(J_{2n}(\sigma) - J_{2n+2}(\sigma)).$$

Для определения расстояния до объекта  $L$ , входящего в параметр  $\sigma$ , используем отношение  $2n$  и  $2n+2$  спектральных гармоник и отношение  $2n+1$  и  $2n+3$  спектральных гармоник:

$$\frac{C_{2n}}{C_{2n+2}} = \frac{(J_{2n-1}(\sigma) - J_{2n+1}(\sigma)) / (J_{2n+1}(\sigma) - J_{2n+3}(\sigma))}{(J_{2n}(\sigma) - J_{2n+2}(\sigma)) / (J_{2n+2}(\sigma) - J_{2n+4}(\sigma))} \quad (8)$$

$$\frac{C_{2n+1}}{C_{2n+3}} = \frac{(J_{2n}(\sigma) - J_{2n+2}(\sigma)) / (J_{2n+2}(\sigma) - J_{2n+4}(\sigma))}{(J_{2n+1}(\sigma) - J_{2n+3}(\sigma)) / (J_{2n+3}(\sigma) - J_{2n+5}(\sigma))} \quad (9)$$

Решение полученных уравнений (8), (9) относительно неизвестного параметра

$\sigma = \omega_A \tau_0$ , требует знания параметров токовой модуляции лазерного автодина, в частности девиации частоты излучения лазерного диода  $\omega_A$ . Принимая во внимание, что  $\tau_0 = 2 \cdot L / c$ , получаем соотношение для определения расстояния до объекта:

$$L = \frac{c}{2} \cdot \frac{\sigma}{\omega_A} \quad (10)$$

#### 4 Экспериментальные исследования

Компьютерное моделирование автодинного сигнала и спектра частотномодулированного полупроводникового лазера проводилось при следующих параметрах: длина волны излучения лазера  $\lambda = 654$  нм, частота модуляции тока питания лазерного диода

$\Omega = 100$  Гц, расстояние до объекта  $L = 0.1$  м.

На рисунке 3 представлены частотномодулированные автодинные сигналы, смоделированные при различных значениях девиации частоты излучения полупроводникового лазерного диода  $\omega_A$ .

Как видно из рисунка 3, с увеличением  $\omega_A$  происходит как изменение формы автодинного сигнала, так и его спектра, при этом наблюдается увеличение числа гармоник низкочастотного спектра автодинного сигнала.

Для определения расстояния до объекта  $L$  по формуле (10), используя соотношения (8) и (9), были рассчитаны значения параметра  $\sigma$  по наборам четных и нечетных спектральных гармоник при увеличении девиации частоты излучения лазерного диода  $\omega_A$ . Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таким образом, показано, что при гармонической модуляции длины волны излучения лазерного диода, посредством частотной модуляции тока накачки, при увеличении девиации частоты излучения лазерного диода  $\omega_A$  в спектре автодинного сигнала наблюдается увеличение числа спектральных гармоник. Использование высших спектральных гармоник автодинного сигнала позволяет определять параметр  $\sigma$ , необходимый для определения расстояния до

объекта  $L$ , и, следовательно, амплитуды виброперемещений.

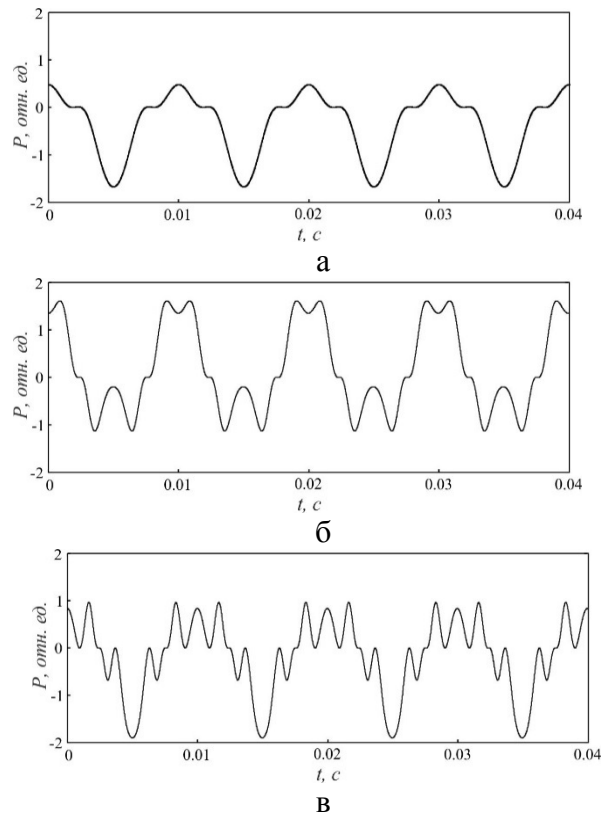


Рисунок 3. Смоделированный частотномодулированный автодинный сигнал и его спектр: (а) при  $\omega_A = 25 \cdot 10^8$  рад/с; (б) при  $\omega_A = 75 \cdot 10^8$  рад/с; (в) при  $\omega_A = 125 \cdot 10^8$  рад/с.

Таблица 1. Результаты компьютерного моделирования расчета параметра  $\sigma$  по номерам спектральных гармоник при различных значениях девиации частоты излучения лазерного диода  $\omega_A$

| $\omega_A$ , рад./с | $\Sigma$ (заданное) | $\sigma$ (рассчитанное по номерам спектральных гармоник) |       |     |     |     |       |       |       |       |  |
|---------------------|---------------------|--|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|--|
|                     |                     | 2/4  | 3/5   | 4/6 | 5/7 | 6/8 | 7/9   | 8/10  | 9/11  | 10/12 |  |
| 25                  | 1,667               | 1,667  | 1,667 |     |     |     |       |       |       |       |  |
| 75                  | 5,0                 |  |       | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0   |       |       |       |  |
| 125                 | 8,333               |  |       |     |     |     | 8,333 | 8,333 | 8,333 | 8,333 |  |

При построении системы с обратной связью источником шумов и помех может быть сама оптическая схема, в которой осуществляется механическое перемещение исследуемой поверхности. Так, лазерный режим чувствителен к длине внешней оптической цепи обратной связи, т. е. к расстоянию от торца диода до отражающей поверхности (рисунок 1). Эта чувствительность может быть использована для наблюдений неровностей поверхности, вызванных изменением поверхностной структуры или ее повреждением. В рассмотренной схеме вибрации внешнего зеркала могут стать источником помех. Поэтому целесообразно использовать лазеры с длиной когерентности, меньшей длины внешней связи.

## 5 Заключение

При проведении дефектоскопии поверхности в соответствии с уравнениями (2) – (7) величина оптоэлектронного сигнала будет складываться из следующих составляющих: отражательной способности внешнего зеркала  $R_3$  (в данном случае – от отражательной способности контролируемой поверхности),  $L_d$  – расстояние от внешнего зеркала лазерного диода до контролируемой поверхности, параметр с характеризует оптические свойства среды в составном резонаторе (поглощение, рассеяние и др. процессы). Закономерности изменения отражательной способности поверхности в зависимости от ее состояния, структуры, наличия различного рода повреждений были исследованы ранее.

На величину оптоэлектронного сигнала существенное влияние оказывает степень когерентности собственного излучения лазерного диода и отраженного поверхностью излучения.

Использование высших спектральных гармоник автодинного сигнала позволяет определять расстояние до объекта и амплитуды виброперемещений.

Целесообразно применять лазеры с длиной когерентности, меньшей длины внешней связи.

## Список использованных источников

- [1] Ендогур А.И.. Сотовые конструкции. Выбор параметров и проектирование [Текст] / А.И. Ендогур, В. Вайнберг, К.М. Иерусалимский. – М.: Машиностроение. – 1986. – 200 с.
- [2] Буланов И.М., Воробей В.В. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учебник для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. 516 с.
- [3] В.И. Мордасов, Н.А. Сазонникова, А.Д. Сторож, Н.Е. Гребнев, Д.Н. Гребнев. Метод лазерно-вибрационной дефектоскопии многослойных композиционных материалов // Труды Второй международной научно-технической конференции «Динамика и виброакустика машин». Самара, СГАУ, 15-17 сентября 2014 г. – С. 480-485.
- [4] Киселев Ю.В. Основы теории технической диагностики [Текст] / Ю.В. Киселев. – Самара: СГАУ, 2004. – 138 с.
- [5] Неразрушающие физические методы выявления дефектов в авиационных материалах. / под ред. А.Л. Дорофеева. – М.: ВИАМ, 1979. – 66 с.
- [6] Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Астахов Е.И. Измерение амплитуды нановибраций частотно-модулированным лазерным автодином // ЖТФ. 2013. Т.83. № 12. С.152-154.
- [7] Giuliani G., Norgia M., Donati S. and Bosch T. Laser diode self-mixing technique for sensing application // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2002. Vol. 4. p.283.



**Vasily I. Mordasov**  
**Nadezhda A. Sazonnikova**  
Samara State Aerospace University  
Moskovskoe shosse, 34, Samara,  
443086, Russian Federation  
gafurov@ssau.ru

**Dmitry N. Grebnev**  
  
OAO "SPC"Progress"  
Zemetsa str, 18, Samara , 443009,  
Russian Federation  
mail@progress.samara.ru

## **LASER VIBRATION DEFEKTOSOKOPY OF MULTILAYER SHELLS USING FEEDBACK EFFECTS IN SEMICONDUCTOR LASERS**

*Composite materials with a unique set of physical and mechanical properties, are wide used in aerospace branch. Since conventional methods for detecting defects are not always sufficiently productive and sensitive, the actual task is to develop methods and control products from composite materials. It is advisable to use the methods of vibroacoustic diagnostics, which allows not only to detect defects, but also to recognize them. To eliminate the drift performance of the measuring system and increasing its sensitivity is expedient to combine the functions of the radiation source and the receiver in a single element using laser autodyne systems based on semiconductor laser.. The use of higher spectral harmonics autodyne signal allows to determine the distance to the object and the amplitude of movements and vibrations.*

**Key words:** *Multilayer composite materials , the internal structure of defects , laser vibrating method , image analysis , synthesis signal database defects*

### **References**

- [1] Endogur A.I, Vainberg M.V., Ierusalimskiy K.M. (1986) "Honeycomb structures. Selection of parameters and design" [Sotoye konstruktсии.vybor parametrov i proektironanie], Mechanical Engineering.
- [2] Bulanov I.M., Vorobey V.V. (1998) "Rocket and aerospace composite structures constructions technology [Tekhnologiya raketnikh b aerokosmicheskikh konstruktсий iz kompozitsionnykh materialov], Moscow, N.E. Bauman MSTU.
- [3] Mordasov V.I., Sazonnikova N.A., Storozh A.D., Grebnev N.E., Grebnev D.N. (2014) "Method of laser vibrating defektoskopy of multilayer composite materials" [Metod lazerno-vibratsionnoy defektoskopii mnogoslownykh kompozitsionnykh materialov], Conference "Dynamics and Vibroacoustics", Samara, pp. 480-485.
- [4] Kiselev Yu. V. (2004) "Basic theory of technical diagnostics" [Osnovy teorii tekhnicheskoy diagnostiki], Samara.
- [5] Dorofeev A.L., (1997) "Nondestructive physical methods of defects detection in aircraft materials" [Nerazrushayushcie phisicheskie metody vyyavleniya defektov v aviatsionnykh materialakh], Moscow.
- [6] Usanov D.A., Skripal A.V., Astakhov E.I.. (2013) "Measuring of the nanovibrating amplitude by frequency-modulated laser autodyne" [Izmerenie amplitudy nanovibratsiy chastotno modulirovannykh lasernym avtyodinom], Journal of Technical Physics No 12, pp. 152-154.
- [7] Giuliani G., Norgia M., Donati S. (2002) "Laser diode self-mixing technique for sensing application", J. Opt. A: Pure Appl. Opt. Vol. 4.