

ОЦЕНКА ПРОФИЛЯ ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ИССЛЕДУЕМУЮ СИЛЬНО РАССЕИВАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ ЭЛАСТОГРАФИИ ЭНДОСКОПИЧЕСКИМ ЗОНДОМ

Потлов А.Ю.

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов

Ключевые слова: механические свойства, оптическая когерентная эластография, сильно рассеивающие среды, профиль деформирующего воздействия, тонкопленочная матрица датчиков давления, триангуляция Делоне.

Аннотация. Представлены высокоэффективные модификации метода оптической когерентной эластографии (ОКЭ). В частности, предложено для оценки профиля деформирующего воздействия: I) окольцовывать волоконно-оптический датчик зонда ОКЭ-системы гибкой тонкопленочной матрицей датчиков давления; II) использовать линейную интерполяцию разреженных данных на основе триангуляции Делоне. Предложенные решения практически реализованы в виде спектральной ОКЭ сменными эндоскопическими зондами и ориентированы на практическое применение в задачах неразрушающего контроля и неинвазивной медицинской диагностики.

EVALUATION OF THE PROFILE OF THE DEFORMING IMPACT EXERT OF THE OPTICAL COHERENCE ELASTOGRAPHY PROBE ON THE TURBID MEDIA UNDER STUDY

Potlov A.Yu.

Tambov State Technical University (TSTU), Tambov

Keywords: mechanical properties, optical coherence elastography, turbid media, profile of the deforming impact, thin-film pressure multi-sensor, Delaunay triangulation.

Abstract. Highly effective modifications of the optical coherence elastography (OCE) method are presented. In particular: I) a flexible thin-film pressure multi-sensor was girdling the fiber-optic sensor of the OCE system probe; II) linear interpolation of sparse data based on Delaunay triangulation was used for evaluation of the profile of the deforming impact. The proposed solutions are practically implemented as a spectral OCE system with replaceable endoscopic probes and are oriented on practical application in non-destructive testing and noninvasive medical diagnostics.

Оптическая когерентная эластография (ОКЭ) – относительно новый метод оценки механических свойств [1, 2] для оптически мутных (сильно рассеивающих оптическое излучение видимого и ближнего инфракрасного диапазона) сред. Ключевыми преимуществами метода ОКЭ являются: микронное пространственное разрешение получаемых эластограмм [1] и отсутствию необходимости повреждения или разрушения исследуемого объекта или его отдельной части [1, 3]. Основным недостатком является высокая чувствительность к объемным движениям [1, 2] сканирующего зонда и сканируемого объекта друг относительно друга. Применительно к оценке структуры исследуемого объекта (т.е. его томографии) это выражается в смазывании оптических изображений, применительно к эластографии – в

нелинейном (в пространственном смысле) характере деформирующего воздействия, оказываемого зондом на исследуемый объект, и следовательно, в высоких погрешностях при вычислении распределения механического напряжения под нагруженной областью.

Для компенсации негативного влияния объемных движений [2] на результаты оптической эластографии предлагаются следующие программно-аппаратные решения:

– для сбора разреженного массива данных о величине деформирующего воздействия на отдельные точки нагруженной области (рис. 1) использовать гибкую тонкопленочную матрицу датчиков давления, окольцовывающую волоконно-оптический датчик зонда ОКЭ-системы;

– для формирования профиля деформирующего воздействия (рис. 2) использовать линейную интерполяцию разреженных данных на основе триангуляции Делоне.

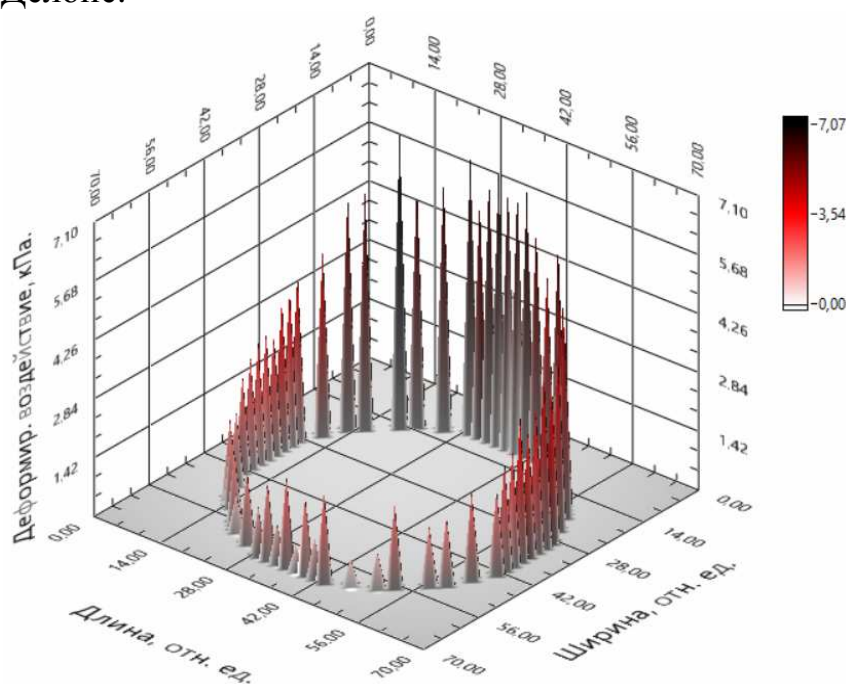


Рис. 1. Сигнал от гибкой тонкопленочной матрицы датчиков давления

При таком подходе сведения об актуальном деформирующем воздействии, оказываемом зондом на исследуемый объект с одной стороны, позволяют персоналу корректировать проведение неразрушающего контроля или медицинской диагностики (избегать недостаточного, чрезмерного или неравномерно распределенного давления на исследуемый объект), а с другой стороны, повышают достоверность оценки механических свойств (величина деформирующего воздействия при таком подходе является функцией не только от времени, но и от координаты).

Предложенные усовершенствования были практически реализованы в виде спектральной ОКЭ-системы со сменными эндоскопическими зондами и программным обеспечением в среде LabVIEW. За прототип принят оптический волоконный интерферометр с электро-оптическим пьезо-волоконным сканированием по глубине «ОКТ 1300-Е» (фирма «БиоМедТех», г. Нижний Новгород).

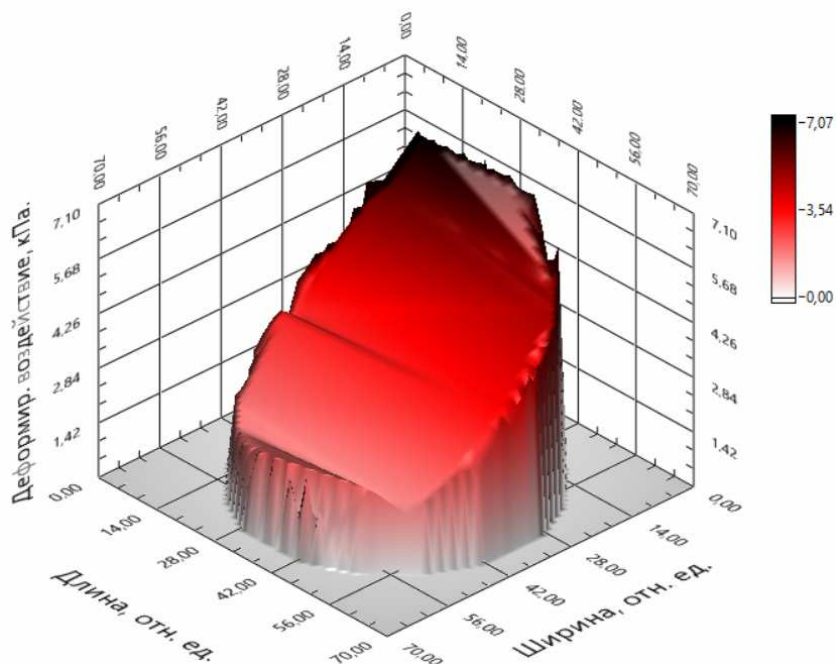


Рис. 2. Профиль деформирующего воздействия

Оценка эффективности предложенных решений была проведена в лабораторных условиях [2]. Эксперименты проводились на материалах для 3D-печати (пластики PLA и ABS) и кремнийорганических полимерах для изготовления форм для литья (силиконы на платиновой основе). И те и другие широко применяются в задачах прототипирования в машиностроении и изготовления тканеимитирующих фантомов в медицине. Серия лабораторных экспериментов показала повышение эффективности оценки механических свойств методом ОКЭ на 16%.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (проект МК-231.2022.4).

Список литературы

1. Larin K.V., Scarcelli G., Yakovlev V.V. Optical elastography and tissue biomechanics // Journal of Biomedical Optics. 2019, vol. 24, no. 11, p. 110901.
2. Фролов С.В., Потлов А.Ю., Фролова Т.А. Реконструкция структурных изображений эндоскопической оптической когерентной томографии посредством учета спекл-паттернов // Инженерный вестник Дона. – 2020. – №10. – С. 1-11.
3. Kennedy B.F., Kennedy K.M., Sampson D.D. A Review of Optical Coherence Elastography: Fundamentals, Techniques and Prospects // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2014, vol. 20, no. 12, pp. 527-549.

Сведения об авторе:

Потлов Антон Юрьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Биомедицинская техника».