

Оптический измерительный комплекс для исследования свойств и диагностики состояния конструкционных материалов

И.П. Мирошниченко

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье предложено описание разработанного оптического измерительного комплекса, предназначенного для бесконтактной регистрации и обработки результатов измерений малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля, и основанного на применении лазерных технологий и оптических интерференционных методов. Описаны структура комплекса, его составные части, раскрыты особенности построения и функционирования при проведении измерений. Представлено описание оригинального специализированного программного обеспечения для обеспечения его функционирования при подготовке к измерениям, при проведении измерений и обработке результатов измерений.

Ключевые слова: оптический измерительный комплекс, лазерная интерферометрия, конструкционный материал, диагностика состояния, объект контроля, малые пространственные перемещения.

В настоящее время появление значительного количества новых материалов и их широкое использование в различных областях техники приводит к необходимости разработки и использования новых высокоточных средств измерений, позволяющих решать научные и производственные задачи при исследовании физико-механических свойств данных материалов и в процессе диагностики состояния конструкционных материалов при их производстве и эксплуатации акустическими активными методами неразрушающего контроля.

Одним из актуальных и перспективных направлений создания новых высокоточных средств измерений является разработка бесконтактных оптических измерительных устройств, основанных на современных лазерных технологиях и новых методах оптической интерферометрии, а также систем, устройств и программного обеспечения, обеспечивающих их функционирование при решении различных измерительных задач, что

позволяет существенно повысить точность, качество и информативность результатов измерений [1–5].

Целью работы являлась разработка оптического измерительного комплекса для регистрации и обработки результатов измерений малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля, позволяющего решать все возникающие измерительные задачи при исследовании физико-механических свойств новых материалов и в процессе диагностики состояния конструкционных материалов акустическими активными методами неразрушающего контроля.

Структура и составные части предлагаемого оптического измерительного комплекса схематично изображены на рис 1.

В комплекс входят следующие составные части:

- система управления оптического измерительного комплекса 1;
- оптическое интерференционное устройство для бесконтактного измерения малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля 2;
- устройство для защиты от влияния внутренних возмущающих (дестабилизирующих) воздействий и коррекции результатов измерений 3;
- устройство для защиты от влияния внешних возмущающих (дестабилизирующих) воздействий и коррекции результатов измерений 4;
- система априорного анализа и подготовки к проведению измерений 5;
- система регистрации результатов измерений 6;
- система обработки и апостериорного анализа результатов измерений 7.

Система управления оптического измерительного комплекса предназначена для управления и обеспечения подготовки к проведению измерений, регистрации и коррекции результатов измерений при проведении измерений и обработки полученных результатов измерений после их завершения.

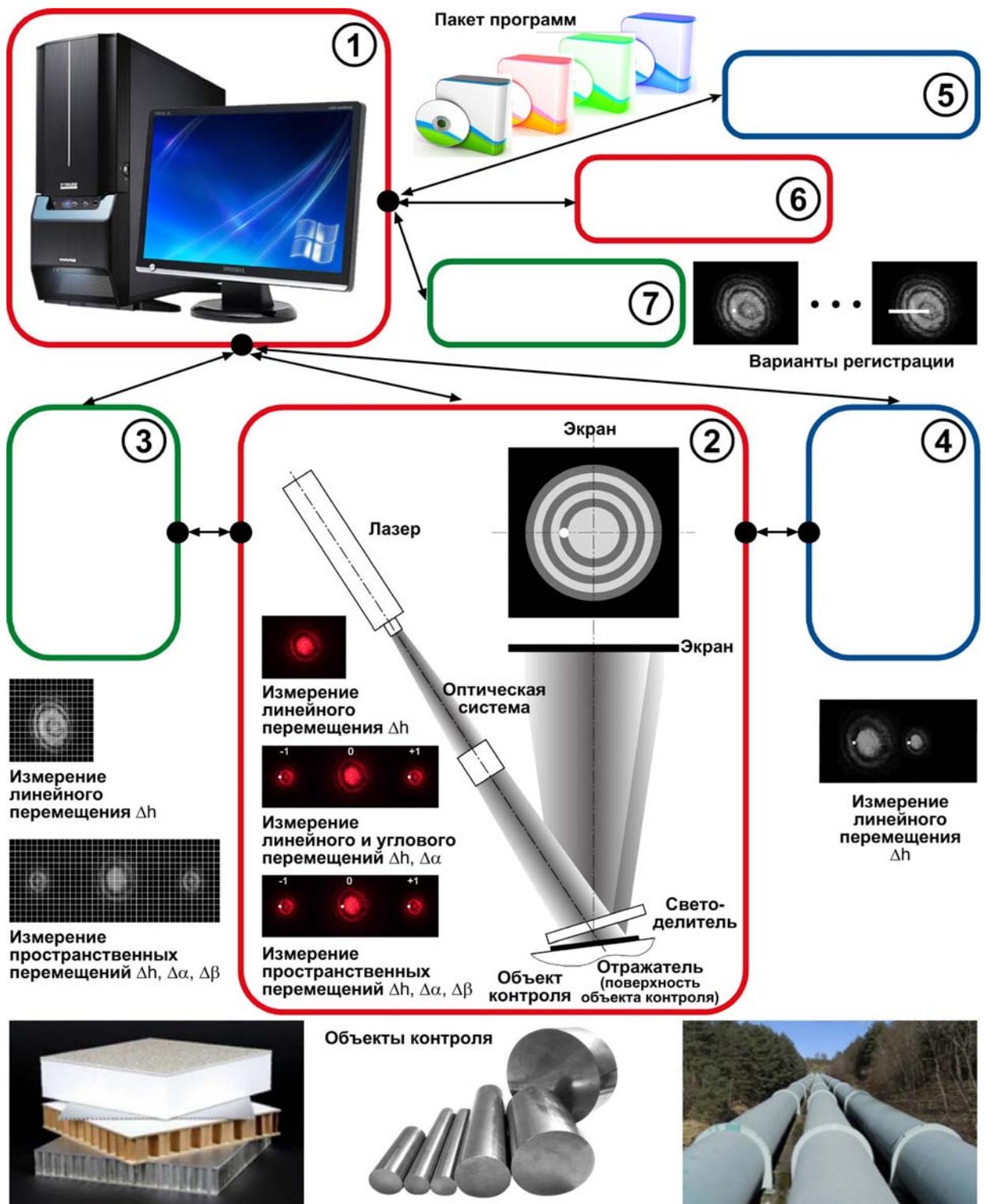


Рис. 1. – Структура и составные части оптического измерительного комплекса

Отмеченная система реализована на базе современной персональной вычислительной техники с использованием разработанного для предлагаемого измерительного комплекса оригинального специализированного программного обеспечения для решения различных задач, возникающих в процессе измерений.

Оптическое интерференционное устройство для бесконтактного измерения малых пространственных перемещений поверхностей контроля предназначено для бесконтактного измерения малых пространственных (линейных и угловых) перемещений поверхностей объектов контроля путем измерения однозначно связанной с отмеченными малыми перемещениями интенсивности оптического поля в заданной области интерференционной картины, создаваемой лазерным интерферометром.

Данное устройство разработано на основе лазерного двухходового интерферометра с совмещенными ветвями, модифицированного для решения измерительных задач.

Для предлагаемого комплекса разработан ряд устройств, позволяющих проводить измерения малого линейного перемещения [6], малых линейного и углового перемещений [7], малых линейных и всех угловых (пространственных) перемещений [8] поверхности объекта контроля, которые могут быть использованы как в составе стационарных, так и в составе мобильных диагностических станций [9], использующих акустические активные методы контроля и диагностики состояния материалов в приборостроении, машиностроении, судостроении, авиастроении, топливно-энергетическом комплексе и т.п..

Устройства [6-9] научно обоснованы в процессе проведения расчетно-теоретических и экспериментальных исследований их функциональных характеристик, а также при опытной эксплуатации (обоснование приведено в работах [10-13]).

Устройство для защиты от влияния внутренних возмущающих (дестабилизирующих) воздействий предназначено для регистрации влияния внутренних возмущающих воздействий (возникающих в самом измерительном устройстве, например, скачки напряжения источника питания при проведении измерений и т.п.) на результаты измерений для их корректировки непосредственно в процессе проведения измерений.

В работе [14] предложено новое техническое решение, обеспечивающее защиту от влияния внутренних возмущающих воздействий, основанное на регистрации суммарной интенсивности оптического поля интерференционной картины, которая должна быть неизменной в процессе измерений независимо от значений регистрируемых малых линейных и угловых перемещений.

Техническое решение [14] научно обосновано, а достигаемый с его помощью технический результат подтвержден при проведении ряда экспериментальных исследований функциональных характеристик [15] и при опытной эксплуатации.

Устройство для защиты от влияния внешних возмущающих (дестабилизирующих) воздействий предназначено для регистрации влияния внешних возмущающих воздействий (возникающих вне измерительного устройства, например, удары, вибрации, колебания различной природы и т.п.) на результаты измерений для корректировки результатов измерений непосредственно в процессе их проведения.

В работе [16] предложено новое техническое решение, обеспечивающее защиту от влияния внешних возмущающих воздействий, основанное на использовании измерительных возможностей самого оптического интерференционного устройства для бесконтактного измерения малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля без применения дополнительных измерительных устройств.

Техническое решение [16] конструктивно представляет собой два совмещенных односторонних лазерных интерферометра и обеспечивает при проведении измерений одновременную регистрацию интенсивности оптического поля в заданной области интерференционной картины (суммарной интенсивности, соответствующей возникающему малому перемещению поверхности объекта контроля и приращению интенсивности, возникающего при влиянии внешних возмущающих воздействий), а также регистрацию приращения интенсивности, возникающего при влиянии внешних возмущающих воздействий. При этом результатом измерений является разность между указанными значениями интенсивностей.

Техническое решение [16] также научно обосновано, а достигаемый с его помощью технический результат подтвержден при проведении экспериментальных исследований его функциональных характеристик [17].

Система априорного анализа и подготовки к проведению измерений предназначена для предварительного прогнозного моделирования зависимостей изменения малых перемещений поверхностей объектов контроля для используемого активного акустического метода неразрушающего контроля и распределений интенсивности оптических полей интерференционных картин при проведении измерений.

Система регистрации результатов измерений предназначена для регистрации интенсивности оптического поля интерференционной картины в заданных областях при проведении измерений.

Система обработки и апостериорного анализа результатов измерений предназначена для обработки результатов измерений после их завершения и распознавания полученных результатов измерений с использованием результатов предварительного прогнозного моделирования зависимостей изменения малых перемещений поверхностей объектов контроля для

используемого активного акустического метода неразрушающего контроля, полученных при априорном анализе.

Программное обеспечение предлагаемого оптического измерительного комплекса включает:

- программы для моделирования распределений интенсивности оптических полей интерференционных картин с учетом геометрических характеристик используемой измерительной схемы, продольной или поперечной поляризации и вида светоделителя (полупрозрачное зеркало, амплитудная синусоидальная решетка, амплитудная зонная пластинка, фазовая синусоидальная решетка с равномерным периодом, фазовая зонная пластинка или амплитудная голографическая дифракционная решетка) (предварительное прогнозное моделирование процесса измерений);

- программы для моделирования зависимостей изменения малых перемещений поверхностей объектов контроля для используемого активного акустического метода неразрушающего контроля с учетом пространственно-временного распределения источников зондирующего воздействия, вида материала объекта контроля (монослойный, слоистый), его физико-механических характеристик (изотропный, трансверсально-изотропный), видов упругих волн, распространяющихся в данном материале и особенностей возникающих волновых процессов (предварительное прогнозное моделирование состояния объекта контроля);

- программы для регистрации и обработки интенсивности оптических полей с заданных областей интерференционной картины (регистрация интенсивности одиночным фотоприемным устройством с заданными геометрическими характеристиками, установленным в выбранном кольце интерференционной картины, двумя фотоприемными устройствами с заданными геометрическими характеристиками, установленными в прилегающих друг к другу кольцах интерференционной картины с различной

интенсивностью, с вертикальных и горизонтальных выделенных областей интерференционной картины, с выделенной области интерференционной картины, отличающейся максимальной контрастностью в соответствии с техническим решением [6]);

- программу для определения суммарной интенсивности оптического поля интерференционной картины и корректировки результатов измерений интенсивности непосредственно при проведении измерений малых линейных перемещений или малых линейных и угловых (пространственных) перемещений поверхностей объектов контроля;

- программу для корректировки результатов измерений от влияния внешних возмущающих воздействий, реализующую определение результатов измерений как разность между суммарной интенсивностью, соответствующей возникающему малому перемещению поверхности объекта контроля и приращения интенсивности, возникающего при влиянии внешних возмущающих воздействий, а также приращения интенсивности, возникающего при влиянии внешних возмущающих воздействий;

Программы для моделирования распределений интенсивности оптических полей интерференционных картин разработаны на основе использования новых математических моделей, описывающих функционирование различных вариантов предлагаемого оптического интерференционного устройства для бесконтактного измерения малых пространственных перемещений поверхностей объектов контроля на основе двухходового интерферометра с совмещенными ветвями (см. [18-21]).

Программы для моделирования зависимостей изменения малых перемещений поверхностей объектов контроля для используемого активного акустического метода неразрушающего контроля построены на основе использования новых методик, основанных на тензорных соотношениях обобщенного метода скаляризации динамических упругих полей в

трансверсально-изотропных средах, позволяющих определить перемещения, напряжения и деформации в заданных областях монослойных и слоистых, плоских, цилиндрических и эллиптических конструкций для изотропных и трансверсально-изотропных материалов слоев (см. [10-11,13]).

На основании вышеизложенного можно отметить:

1. Разработан оптический измерительный комплекс, позволяющий решать все возникающие измерительные задачи при исследовании физико-механических свойств новых материалов и в процессе диагностики состояния конструкционных материалов акустическими активными методами неразрушающего контроля.

2. Технические решения и оригинальное специализированное программное обеспечение, входящие в предлагаемый измерительный комплекс, обоснованы в процессе проведения расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, а также подтвердили достижение ожидаемых технических и функциональных характеристик при решении различных актуальных измерительных задач при опытной эксплуатации.

3. Использование разработанного измерительного комплекса позволяет повысить информативность и достоверность результатов измерений до 20-30%, а также проводить коррекцию результатов измерений непосредственно при их проведении без использования дополнительных средств измерений (за счет собственных измерительных возможностей), что позволяет повысить качество результатов измерений до 20-40%.

4. Реализованные в предлагаемом измерительном комплексе технические решения защищены патентами Российской Федерации на изобретения, а программное обеспечение – свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

5. Описанные в статье результаты докладывались, обсуждались и получили одобрение специалистов на 2015 International Conference on



«Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications». PHENMA 2015 (Ростов-на-Дону, Россия), 2016 International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications». PHENMA 2016 (Сурабая, Индонезия), 2017 International Conference on «Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications». PHENMA 2017 (Джабалпур, Индия), International Conference on Innovative Research «EUROINVENT ICIR 2017» (Яссы, Румыния) и др., а также представлялись на 45 Международном салоне изобретений «Inventions Geneva-2017» (Женева, Швейцария), 9-th European Exhibition of Creativity and Innovation «EUROINVENT 2017» (Яссы, Румыния), 31-th World Genius Convention and Education «Expo 2017» (Токио, Япония) и XI International Warsaw Invention Show «IWIS 2017» (Варшава, Польша), где получили высокие оценки Международных экспертных комиссий и были удостоены золотых медалей.

6. Предлагаемый оптический измерительный комплекс предназначен для использования в составе как стационарных, так и мобильных диагностических станций в приборостроении, машиностроении, судостроении, авиастроении, топливно-энергетическом комплексе и т.п.

Настоящие разработки поддержаны Министерством образования и науки Российской Федерации и грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 16-08-00740.

Литература

1. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Serkin A.G., Sizov V.P. Novel Test Means and Techniques Based on Optical Interferometry and Acoustic Emission to Study Displacements of Object Surfaces and Damage of High-Temperature Superconductive Tapes and Related Composites // Piezoelectrics and



Related Materials: Investigations and Applications.- New York: Nova Science Publishers, 2012.- pp. 239-282.

2. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Sizov V.P., Shevtsov V.A. Novel Optical Means for Measurement of Displacements of Surfaces of the Control Objects at Diagnostics of Materials and Goods // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications.- New York: Nova Science Publishers, 2013.- pp. 145-154.

3. Мирошниченко И.П., Серкин А.Г. Усовершенствованная экспериментальная установка для исследования процессов дефектообразования в образцах конструкционных материалов // Металлург.- 2010.- № 3.- С. 68-69.

4. Карюков Е.В., Панич А.А. Доля В.К., Малыхин А.Ю., Немыкин В.В., Бостанджиян В.В. Пористые пьезокомпозиционные материалы на основе пьезокерамики ПКП-12 // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4481.

5. Веремеенко А.А., Вернези Н.Л., Лобанов И.В. Обзор современных методов неразрушающего контроля строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2018. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4918.

6. Патент 2373492 РФ. Оптическое устройство для измерения перемещений / Мирошниченко И.П., Паринов И.А., Рожков Е.В., Серкин А.Г., 2009.

7. Патент 2388994 РФ. Способ измерения линейных и угловых перемещений / Мирошниченко И.П., Серкин А.Г., Сизов В.П., 2010.

8. Патент 2606245 РФ. Способ измерения линейной и угловых составляющих малых перемещений поверхностей объектов контроля / Мирошниченко И.П., Паринов И.А., Сизов В.П., 2017.

9. Патент 2407988 РФ. Оптическое устройство для измерения перемещений / Мирошниченко И.П., Паринов И.А., Рожков Е.В., Серкин А.Г., 2010.

10. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Chang S.-H. Mathematical Models, Program Software, Technical and Technological Solutions for Measurement of Displacements of the Control Object Surfaces by Laser Interferometer Advanced Materials Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics, 175. - Switzerland: Springer International Publishing, 2016.- pp. 341-356.

11. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Wu J.-K., Hong W.-L., Yeh M.-Y. Novel Optical Interference Means to Measure Small Linear and Angular Displacements of Control Object Surfaces Advanced Materials - Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics, 193.- Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Cham, 2017.- pp. 591-605.

12. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A. Scientific Ground of a New Optical Device for Contactless Measurement of the Small Spatial Displacements of Control Object Surfaces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Volume 209, URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/209/1/012054.

13. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A. On Increasing Quality of Measurement Results at Testing State of Construction Materials // Advances in Structural Integrity. Proceedings of SICE 2016. - Springer Singapore: Springer Nature Singapore, 2018. - pp. 663-671.

14. Патент 2343403 РФ. Способ регистрации перемещений оптическими датчиками / Алехин В.Е., Мирошниченко И.П., Серкин А.Г., Сизов В.П., 2009.



15. Мирошниченко И.П., Серкин А.Г. Коррекция результатов измерений малых перемещений лазерными интерферометрами // Датчики и системы.- 2008.- № 3.- С. 28-30.

16. Патент 2410642 РФ. Интерференционный измеритель малых перемещений / Мирошниченко И.П., Нестеров В.А., Серкин А.Г., Сизов В.П., Шевцов В.А., 2011.

17. Мирошниченко И.П., Шевцов В.А. Оптическое интерференционное устройство для измерений малых перемещений поверхностей объектов контроля с защитой от внешних механических воздействий // Ползуновский вестник. - 2014.- № 2.- С. 66-71.

18. Miroshnichenko I.P. Modeling Methods of Stress-Strain State in Layered Constructions from Anisotropic Materials at Pulsed Loading // Advanced Materials. Physics. Mechanics and Applications, Springer Proceedings in Physics, 152.- Switzerland: Springer International Publishing, 2014.- pp. 163-179.

19. Miroshnichenko I.P., Sizov V.P. Definition of Stress-Strain State of Layered Anisotropic Elliptic Construction under Action of Impulse Load // Advanced Materials - Studies and Applications.- New York: Nova Science Publisher, 2015.- pp. 353-390.

20. Miroshnichenko I.P. Method and Computer Software for Definition of Stress-Strain State in Layered Anisotropic Constructions at Pulse Loading // Physics Research and Technology. Proceedings of the 2015 International Conference on «Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications».- New York: Nova Science Publishers, 2016.- pp. 509-514.

21. Miroshnichenko I.P. Definition of Stress-Strain State in Layered Cylindrical Constructions at Pulse Loading // Advanced Materials - Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics, 193.- Heidelberg New York Dordrecht London: Springer Cham, 2017.- pp. 435-443.

References

1. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Serkin A.G., Sizov V.P. Piezoelectrics and Related Materials: Investigations and Applications. New York: Nova Science Publishers, 2012. pp. 239-282.
 2. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Sizov V.P., Shevtsov V.A. Physics and Mechanics of New Materials and their Applications. New York: Nova Science Publishers, 2013. pp. 145-154.
 3. Miroshnichenko I.P., Serkin A.G. Metallurg. 2010. № 3. pp. 68-69.
 4. Karyukov E.V., Panich A.A. Dolya V.K., Maly`xin A.Yu., Nemy`kin V.V., Bostandzhiyan V.V. Inzhenerny`j vestnik Dona (Rus), 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4481.
 5. Veremeenko A.A., Vernezi N.L., Lobanov I.V. Inzhenerny`j vestnik Dona (Rus), 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4918
 6. Patent 2373492 RF. Opticheskoe ustrojstvo dlya izmereniya peremeshhenij [Optical device for measuring displacements]. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Serkin A.G., 2009.
 7. Patent 2388994 RF. Sposob izmereniya linejny`x i uglovy`x peremeshhenij [Measuring method of linear and angular displacements]. Miroshnichenko I.P., Serkin A.G., Sizov V.P., 2010.
 8. Patent 2606245 RF. Sposob izmereniya linejnoj i uglovy`x sostavlyayushhix maly`x peremeshhenij poverxnostej ob`ektov kontrolya [Measuring method of linear and angular components of the small displacements of control object surfaces]. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Sizov V.P., 2017.
 9. Patent 2407988 RF. Opticheskoe ustrojstvo dlya izmereniya peremeshhenij [Optical device for measuring displacements]. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Serkin A.G., 2010.
 10. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Rozhkov E.V., Chang S.-H. Mathematical Models, Program Software, Technical and Technological Solutions
-

for Measurement of Displacements of the Control Object Surfaces by Laser Interferometer Advanced Materials Manufacturing, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics, 175. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. pp. 341-356.

11. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A., Wu J.-K., Hong W.-L., Yeh M.-Y. Novel Optical Interference Means to Measure Small Linear and Angular Displacements of Control Object Surfaces Advanced Materials - Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics, 193. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer Cham, 2017. pp. 591-605.

12. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017, Volume 209. URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/209/1/012054.

13. Miroshnichenko I.P., Parinov I.A. Advances in Structural Integrity. Proceedings of SICE 2016. Springer Singapore: Springer Nature Singapore, 2018. pp. 663-671.

14. Patent 2343403 RF. Sposob registracii peremeshhenij opticheskimi datchikami [Method of recording displacements by optical sensors]. Alexin V.E., Miroshnichenko I.P., Serkin A.G., Sizov V.P., 2009.

15. Miroshnichenko I.P., Serkin A.G. Datchiki i sistemy`. 2008. № 3. pp. 28-30.

16. Patent 2410642 RF. Interferencionny`j izmeritel` maly`x peremeshhenij [Interference meter of small displacements]. Miroshnichenko I.P., Nesterov V.A., Serkin A.G., Sizov V.P., Shevczov V.A., 2011.

17. Miroshnichenko I.P., Shevczov V.A. Polzunovskij vestnik. 2014. № 2. pp. 66-71.

18. Miroshnichenko I.P. Advanced Materials. Physics. Mechanics and Applications, Springer Proceedings in Physics, 152. Switzerland: Springer International Publishing, 2014. pp. 163-179.



19. Miroshnichenko I.P., Sizov V.P. Advanced Materials - Studies and Applications. New York: Nova Science Publisher, 2015. pp. 353-390.
20. Miroshnichenko I.P. Physics Research and Technology. Proceedings of the 2015 International Conference on «Physics, Mechanics of New Materials and Their Applications». New York: Nova Science Publishers, 2016. pp. 509-514.
21. Miroshnichenko I.P. Advanced Materials - Techniques, Physics, Mechanics and Applications. Springer Proceedings in Physics, 193. Heidelberg New York Dordrecht London: Springer Cham, 2017. pp. 435-443.