

## УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор  
РГП на ПХВ «Казахстанского института  
стандартизации и метрологии  
(государственный научный  
метрологический институт)»  
(КазСтандарт),  
доктор экономических наук  
**Мухамбетов Г.М.**  
2023 г.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Казахстанского института стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан.

Диссертация «Аппаратно-программный комплекс контроля технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков» выполнена в Казахстанском институте стандартизации и метрологии Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан.

В период подготовки и написание диссертации соискатель Аймагамбетова Раушан Жанатовна работала в Казахстанском институте стандартизации и метрологии Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан ведущим специалистом, главным специалистом, заместителям руководителя Департамента стратегического развития и науки и по настоящее время руководителем Департамента производства, науки и оценки соответствия.

В 2019 г. окончила ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности 2.2.8 - Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 28 июня 2023 года ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Диплом об окончании аспирантуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии» выдан 01 июля 2019 году, регистрационный номер А-1-253.

Научный руководитель - Стукач Олег Владимирович, доктор технических наук, профессор Московского институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова, департамент электронной инженерии.

По итогам обсуждения **принято следующее заключение:**

**Актуальность работы.** Контроль технического состояния протяженных объектов и строительных конструкций в режиме реального времени позволит решить ряд важных задач, связанных с повышением эффективности и безопасности эксплуатации различных зданий и сооружений. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки средств контроля для своевременной идентификации скрытых дефектов протяженных объектов, строительных конструкций, в том числе монолитных железобетонных фундаментов. Основная идея диссертационной работы заключается в возможности и реализации применения стандартного одномодового оптического волокна для контроля технического состояния объектов большой протяженности, прежде всего монолитных железобетонных фундаментов. Оптическое волокно используется как сенсор и канал передачи данных о проведенных измерениях в режиме реального времени. Особенность заключается в том, что оптическое волокно (ОВ) размещается непосредственно внутри монолитной железобетонной строительной конструкции, например фундамента, или закрепляется на его поверхности. При изменении напряженно-деформированного состояния возникают концентраторы напряжения, которые создают аварийно-опасные зоны разрушения, где формируются трещины. Рост трещин и их раскрытие могут происходить с различной интенсивностью, что приводит к внезапному разрушению монолитной железобетонной строительной конструкции, например фундамента. При этом образовавшиеся дефекты могут быть скрыты и недоступны для визуального поиска. Разрушение фундамента создает опасность для всей строительной конструкции в целом. В случае появления дефектов или разрушения фундамента ОВ подвергается деформации, которое вызывает изменение показателя преломления, что в свою очередь влечет изменение параметров излучения, которое можно зафиксировать при помощи фотоприемника. Деформация ОВ приводит к его микроизгибу, и появляется известный фотоупругий эффект, который вызывает изменения параметров хода луча внутри ОВ. Происходит множество изменений свойств излучения, а именно изменяются интенсивность, фаза распространения электромагнитной волны, увеличиваются дополнительные потери и другое. Контролируя изменения указанных параметров, можно идентифицировать параметры нагрузки на ОВ и определить место формирования дефектов и аварийно-опасной зоны разрушения монолитной строительной конструкции. Полученная информация от волоконно-оптического датчика контроля изменения нагрузки на фундамент обрабатывается при помощи аппаратно-программного комплекса. Внезапное разрушение строительной конструкции несет в себе определенную опасность и создает угрозу для людей. Ранняя диагностика в режиме реального времени и своевременное оповещение об опасности разрушения монолитной железобетонной строительной конструкции, а также установление точного места формирования трещин является весьма актуальным. Трещины, особенно скрытые, представляют серьезную опасность, поскольку при отсутствии контроля за их ростом и раскрытием фактическое техническое состояние конструкции является неизвестным, а последствия эксплуатации таких конструкций могут быть достаточно серьезными в плане угрозы обрушения и гибели людей.

Задачу эффективного контроля технического состояния протяженных объектов и монолитных строительных конструкций, в том числе железобетонных фундаментов, можно решить за счет использования автоматических систем волоконно-оптического контроля, основанных на использовании цифровых технологий. Применение ОВ как чувствительного датчика является экономически и технически выгодно. На основе ОВ можно создать распределённый волоконно-оптический датчик контроля нагрузки на элементы строительной конструкции протяженностью до нескольких километров. При этом ОВ является энергопассивным, взрыво- и пожаробезопасным, не воспринимающим электромагнитные помехи. Данная система может быть востребована для мониторинга технического состояния конструктивных элементов зданий и сооружений, что позволит повысить уровень контроля и цифровизации в строительной отрасли с учетом тенденций развития Индустрии 4.0. Распределенный волоконно-оптический датчик может быть одновременно чувствительным элементом и направляющей системой связи. Использование ОВ в системе контроля позволит достичь высоких показателей энергоэффективности, а также обеспечивает хорошую помехозащищенность. Предлагаемый аппаратно-программный комплекс (АПК) способен с достаточно высокой точностью контролировать изменения напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных строительных конструкций с целью своевременного предупреждения об опасности их разрушения. АПК обладает достаточно широкой областью применения, относительной простотой, невысокой стоимостью и позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию строительных и протяженных объектов и принять превентивные меры по их защите, являясь новым инструментом неразрушающего контроля. Выбор темы, цели и поставленных задач обусловлены актуальностью, теоретической и практической значимостью.

**Целью диссертационной работы** является создание аппаратно-программного комплекса контроля технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков для идентификации повреждений в режиме реального времени и обеспечения безопасности эксплуатации монолитных железобетонных конструкций.

**Научная новизна диссертационного исследования заключается** в разработке новой методики контроля технического состояния строительных конструкций на основе оптико-электронного анализа параметров, полученных от волоконно-оптических датчиков, **а именно:**

— создана методика контроля технического состояния строительных конструкций и протяжённых объектов с одновременным использованием волоконно-оптических чувствительных элементов (датчиков) распределённого и квази-распределенного типа с оптико-электронным анализом изменения параметров оптической волны в режиме реального времени;

— впервые предложена физико-математическая модель с учетом объемной плотности мощности и других параметров электромагнитного поля волны в

оптоволокне, расположенном вдоль оси горизонтальной деформируемой железобетонной балки;

— получены результаты экспериментального исследования образца волоконно-оптической системы контроля технического состояния строительных конструкций или протяженного объекта, способного при помощи квази-распределенных датчиков установить участок повреждения, а с помощью метода оптической рефлектометрии определить место разрушения с точностью до 1 метра;

— впервые разработана волоконно-оптическая квази-распределённая система с аппаратно-программным комплексом контроля на основе оптико - электронного анализа изменения интенсивности оптической волны, распространяющейся по оболочке оптического волокна.

**На защиту выносятся следующие научные положения,** полученные лично автором:

1. Разработанная физико-математическая модель позволяет установить деформацию железобетонной строительной конструкции по потерям оптической мощности и по изменению параметров распределения объемной плотности электромагнитного поля волны, сформированных в оболочке оптического волокна при его микроизгибе.

2. Методика контроля технического состояния строительных конструкций с применением волоконно-оптических датчиков квази -распределенного типа на длине волны 650 нм и распределённого типа на длине волны 1310 и 1550 нм, позволяет определить поврежденный участок посредством проведения оптико-электронного анализа изменения параметров излучения оптической волны распространяющейся по оболочке ОВ.

3. Аппаратно-программный комплекс контроля технического состояния железобетонных конструкций с использованием волоконно-оптических датчиков позволяет обеспечить непрерывный дистанционный контроль за счет анализа изменения интенсивности светового пятна с преобразованием численной картины пикселей на основе оптико-электронного анализа.

**Практическая значимость** заключается в разработке новой методики и опытного образца аппаратно-программного комплекса контроля технического состояния строительных конструкций или протяженного объекта. Предлагаемая методика контроля технического состояния строительных конструкций, обладает рядом преимуществ в сравнении с уже существующими методами, не позволяющими осуществлять наблюдения за объектом в режиме реального времени. Результаты диссертационной работы были внедрены в НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева». Практическая значимость подтверждается протоколом заседания технической службы ТОО Строительная компания «Empire Construction» и РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии». Результаты внедрения подтверждены актами внедрения.

**Апробация работы** была проведена путем очного участия и доклада на трех международных конференциях, проходивших на территории России и стран ближнего зарубежья.

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается за счет анализа первичной информации, полученной из наукометрических баз данных РИНЦ, WoS и Scopus, а также патентный поиск. Достоверность полученных результатов гарантируется за счет оценки совпадения теоретических и практических результатов исследования образца аппаратно-программного комплекса на основе волоконно-оптических датчиков распределенного и квази-распределенного типа, значительным объемом проведенных полевых испытаний на действующем строительном объекте ТОО «Empire Construction». Надежность полученных результатов обеспечивалась методами планирования и статистической обработки экспериментальных данных.

**Содержание диссертации соответствует специальности 2.2.4.– Приборы и методы измерения (по видам измерений)** в отношении разработки аппаратно-программного комплекса контроля технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков, разработки физико-математической модели процессов преобразования внешнего светового сигнала в визуальный сигнал, позволяющий с помощью методов квантовой волновой оптики интерпретировать процесс возникновения различного рода дефектов в монолитных железобетонных конструкциях и протяжённых объектах под действием внешних нагрузок.

Название диссертации соответствует её содержанию и характеру выполненных исследований. Выполненная **диссертационная работа является завершённой, соответствует Положению о присуждении ученых степеней ВАК РФ.**

**Ценность научных работ соискателя** заключается в разработке физико-математической модели процессов преобразования внешнего светового сигнала в визуальный сигнал, позволяющий с помощью методов квантовой волновой оптики интерпретировать процесс возникновения различного рода дефектов в монолитных железобетонных конструкциях и протяжённых объектах под действием внешних нагрузок. Полученные выражения позволяют выполнить расчет нагрузки на конструкцию в зависимости от величины интенсивности светового сигнала в деформированной железобетонной конструкции путем анализа зависимости показателей преломления света от нагружения железобетонной конструкции.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** По теме диссертации опубликовано 7 статей в рецензируемых журналах, включённых в Перечень ВАК РФ, 4 статьи в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science. Основные положения были представлены на 3 международных научно-практических конференциях с докладом. Техническая новизна разработки подтверждается 2 патентами РК.

**Статьи в журналах, входящих в перечень Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации:**

1. Аймагамбетова Р. Ж. Система мониторинга несущих строительных конструкций зданий и сооружений на основе применения волоконно-оптических технологий / Мехтиев А.Д., Наркевич М.Ю., Нешина Е.Г., Кожас А. К. // Инженерно-строительный журнал. 2023. № 4 (119). (Magazine of Civil Engineering)

2. Аймагамбетова Р.Ж. Технология блокчейн в обеспечении метрологической прослеживаемости результатов измерений / Есенбаев С.Х., Баянова М.Е. // Мир измерений. 2021. № 1. С. 50-52.

3. Аймагамбетова Р.Ж. Волоконно-оптическая система контроля устойчивости бортов карьеров / Мади П.Ш., Алькина А.Д., Юрченко А.В., Мехтиев А.Д. // Омский научный вестник. 2022. № 4 (184). С. 112-118.

4. Аймагамбетова Р.Ж. Аппаратно-программный комплекс для контроля смещения бортов карьеров / Мади П.Ш., Алькина А.Д., Юрченко А.В., Мехтиев А.Д. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. Том 14. № 3 (55). 2022.

5. Аймагамбетова Р. Ж. Автоматическая система контроля целостности волоконно-оптических кабелей /А.Д. Алькина, Юрченко А.В. А.Д. Мехтиев, Мади П.Ш // Мир измерений. № 2. 2023.

6. Аймагамбетова Р. Ж. Волоконно-оптическая система контроля устойчивости бортов карьеров. П. Ш. Мади, А. Д. Алькина, А.В. Юрченко, А.Д. Мехтиев. Омский научный вестник № 4 (184). 2022, 112-117. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-184-112-117

7. Аймагамбетова Р. Ж. Разработка лабораторного образца системы контроля технического состояния оптических кабелей. А.Д. Алькина, А. В. Юрченко, А. Д. Мехтиев, П. Ш. Мади. ВЕСТНИК ТОГУ. 2023. № 1 (68), с 71-80

**Научные работы, опубликованные автором диссертационного исследования, входящие в международную базу цитирования Scopus и WoS**

8. Aimagambetova R.Z. Research of mechanical stress at tension of quartz optical fiber (QOF) / Mekhtiyev, A.D., Kovtun, A.A., Yugay, V.V., Alkina, A.D. // Metalurgija, 2021, 60(1-2), стр. 121–124

9. Aimagambetova R.Z. Design of an information-measuring system for monitoring deformation and displacement of rock massif layers based on fiber-optic sensors / Yugay, V., Mekhtiyev, A., Neshina, Y., Musagazhinov, M., Kovtun, A. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, 6(5-114), стр. 12–27

10. Aimagambetova R.Z. Monitoring reinforced concrete building structure technical conditions based on the use of quasi-distributed fiber-optic sensors / Mekhtiyev, A., Neshina, Y., Kozhas, A., Toleubayeva, S., Tleubayeva, A. // International Journal of GEOMATE, 2022, 23(97), pp. 154–162

11. Aimagambetova R.Z. Using optical fibers (of) to control the stress-strain state of steel structures subject to fatigue failure / V. V. Yugay, A. D. Mekhtiyev, S. G. Ozhigin, Y. G. Neshina, Y. Zh. Sarsikev // METALURGIJA 61 (2022) 2, 351-354

**Патенты и материалы международных конференций:**

12. Автоматизированная волоконно-оптическая система мониторинга, телеметрии и контроля стационарных объектов, водоемов и сейсмоопасных

участков. Патент на полезную модель № 7775. Дата выдачи 27.01.2023.

13. Волоконно-оптическая система охранной сигнализации для предупреждения аварийного разрушения железобетонных конструкций и любых протяженных объектов. Патент на изобретение № 36074. Дата выдачи 27.01.2023

14. Aimagambetova R. Zh. Model of the Yield Loss Factors Based on Survey Analysis for the Integrated Circuits Manufacturing / Oleg V. Stukach// International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED) Conference Paper, 2019

15. Aimagambetova R.Z. The Peculiar Measure Identifying of the Temperature Leap in the Distributed Raman Sensors / Ershov, I.A., Stukach, O.V. // 15th International IEEE Scientific and Technical Conference Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics-2021 - Proceedings, 2021.

16. Aimagambetova R. Zh. Hardware-software Complex for Monitoring Incidental Losses Occurring in Optical Communication Cables under Mechanical Effect / Aliya D. Alkina; Alexey V. Yurchenko; Perizat Sh. Madi; Ali D. Mekhtiyev; Yelena G. Neshina // 2022 IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON).

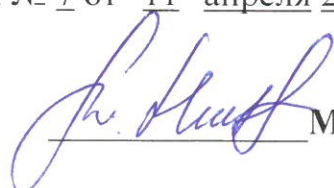
**Личный вклад автора.** Личный вклад автора заключается в проведении научного анализа литературы, в разработке физико-математической модели, выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, в разработке аппаратно-программного комплекса, численного анализа изменения картины пикселей светового пятна при изменении нагрузки на ОВ, находящееся внутри строительной конструкции, в разработке методики контроля и оформлении результатов в виде публикаций и научных докладов.

Диссертация «Аппаратно-программный комплекс контроля технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков» Аймагамбетовой Раушан Жанатовна рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.4.– Приборы и методы измерения (по видам измерений).


Заключение принято на заседании Ученого совета РГП на ПХВ «Казахстанский институт стандартизации и метрологии» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан.

Присутствовало на заседании 14 чел. Результаты голосования: "за" - 14 чел., "против" - нет, "воздержалось" - нет, протокол № 7 от "11" апреля 2023 г.

Заместитель председателя Ученого совета РГП «КазСтандарт», заслуженный метролог Республики Казахстан, к.т.н.

  
Михалченко В.Н.

Ученый секретарь РГП «КазСтандарт»

  
Сыргабай М.К.