

Аубакирова Бакыткул Бокаевнаның «Өнеркәсіптік ғимараттар мен имараттарда ұзақ уақыт бойы пайдаланылатын мониторинг жүйесі цифрлі технология негізінде жасау» диссертациялық жұмысы

6D072900 – «Құрылыс» мамандығы бойынша PhD докторы ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған.

Зерттеу өзектілігі: Заманауи ақпараттық технологияны қолдану тиімділігін ғимараттар мен имараттарды жобалау, тұрғызу және пайдалану үрдісінде әлемдік құрылыс тәжірибесі ертеде дәлелдеген.

Қазіргі заманауи әлемде ғимараттар мен имараттардың техникалық күйіне мониторингтің сандық жүйелері жеткілікті сұранысқа ие. Көтергіш конструкцияларының бұзылуға реакциясын уақтылы анықтау және зақымданудың ерте диагностикасы ғимараттар мен имараттардың тұрақтылығына байланысты мәселелерін уақтылы шешуіне мүмкіндік береді.

Қазіргі кезде сандық зияткерлік жүйелік бақылау жоғарғы өзектілігі бойынша алда, өйткені нақты уақыт тәртібінде әртүрлі құрылыс конструкцияларының техникалық күйін жоғары дәлдікпен бақылауға қабілетті.

Ұзақ уақыт пайдалану процесінде құрылыс конструкцияларының кенеттен құлауының мәселесі бұрыннан белгілі және толық көлемде шешілмеген, алайда әртүрлі елдердің зерттеушілері оны шешу үшін жұмыс істеуде. Бұл айтарлықтай маңызды міндет деп айтуға болады, өйткені құрылыс конструкцияларының техникалық жай-күйін диагностикалау мен бақылаудың жаңа құралдарын әзірлеу қажет етеді. Бұл ретте бақылау жүйесінің жоғары техникалық-экономикалық көрсеткіштері, сондай-ақ оның салыстырмалы қарапайымдылығы және Қазақстанның климаттық жағдайларына бейімділігі қамтамасыз етілуі тиіс.

Қазіргі уақытта сандық технология негізінде ғимараттар мен имараттардың техникалық күйінің құрылымдық элементтеріне сенімді мониторинг әдісі қажет. Ғимараттар мен имараттарды тиімді және қауіпсіз пайдалануға қатысты сандық технологияларды енгізу қазіргі заман үрдісі бойынша бірнеше маңызды мәселені шешуге мүмкіндік береді. Ұзақ мерзімде қолданылған құрылыс кенеттен құлауы - бұл мәселе бәрімізге мәлім. Сондықтан оны шешу үшін құрылыс конструкциясының жағдайының диагностикасы жасайтын құралдармен мен әдістерін әзірлеу керек. Сонымен қатар, 4.0 Индустрияда қойылған міндеттерге сай болжамды технология сандық және энергиялық тиімді болуы тиіс. Бұл құрылыста диагностика мен мониторингтің жаңа құралдарын жасайтын ғалымдар мен әзірлеушілерге айтарлықтай сын.

Өнеркәсіптік ғимараттардың пайдаланудағы құрылыстардың кепілдік берілген сенімділігін қамтамасыз ету мақсатында көтергіш конструкцияларының кернеулі-деформацияланған жай-күйін автоматты тәртібінде, ақпараттық моделі негізінде бақылауға мүмкіндік беретін жүйені құру міндеттерін шешуге жаңа ғылыми тәсіл қажет. Бұл сарапшыға ақаулар

мен зақымданулардың сипаты мен өсуін анықтауға, авариялық жағдайлардың алдын алу үшін сақтандыру және өтемақы сипатындағы шараларды қабылдауға мүмкіндік береді.

Цифрлық технологиялар дәуірінде монолитті бетон және темірбетон конструкцияларындағы жарықшалардың өсуі тұрғысынан ғимараттар мен имараттардың техникалық күйін бақылауға мүмкіндік беретін әртүрлі электрондық мониторинг жүйелері дамыды. Бұл мәселе айтарлықтай маңызды және әртүрлі жағдайларда, әсіресе ғимаратты пайдаланудың технологиялық процестері бұзылған кезде туындайды. Тиісінше, ғимаратты пайдалану процесінде көтергіш конструкцияларының кернеулі-деформацияланған күйін автоматты тәртібінде ерте диагностикалаудың тиімді құралдарын дамыту аса өзекті болып табылады.

Диссертацияның мақсаты өндірістік ғимараттардың көтергіш конструкциясының кернеулі-деформацияланған күйін және қызмет атқару мерзімінің қалған уақытын бағалау әдістемесін әзірлеу және ғылыми негіздеуде деректерді алу мен өңдеудің қазіргі заманғы ақпараттық технологияларын пайдалану болып табылады.

Диссертацияның көрсетілген мақсатын жүзеге асыру үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Құрылыс конструкцияларының техникалық жағдайын бағалауда ақпараттық технологияларды қолданануға талдамалы зерттеу жүргізу.

2. Өндірістік ғимарат конструкцияларының қызмет жасау мерзімінің қалдықты уақыты мен техникалық жағдайын бағалаудағы ақпараттық моделдеу технологиясының ғылыми-әдістемелік негіздемесін әзірлеу.

3. Құрылыс конструкциясының кернеулі-деформация жағдайын бағалау әдістемесін ақпараттық моделдеу технологиясын қолдану арқылы әзірлеу.

4. Темірбетон конструкцияларының кернеулі-деформация жағдайын мониторинг жасауға эксперименттік зерттеу жүргізуде сандық технологияны пайдалану.

5. Тұрғызылған конструкциялар мысалында мониторинг әдістемесін іске асыру.

6. Темірбетон конструкцияларының техникалық жағдайын мониторинг жасай алатын аппараттық-бағдарламалық бақылау тәсілінің әдістемесін әзірлеу.

Зерттеу нысаны: Өнеркәсіптік ғимараттардың темірбетонды конструкциялары, мониторинг құралдары мен әдістері, квази-таратылған талшықты-оптикалық датчиктер,

Зерттеу нысанасы өнеркәсіптік ғимараттардың темірбетон конструкцияларының техникалық жағдайын бақылауда квази-таратылған талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану негізінде автоматтандырылған мониторинг жүйесімен құру болып табылады.

Зерттеудің әдістемелік және теориялық негіздерін инженерлік ізденістер, құрылыс конструкцияларын зерттеу, геодезиялық өлшеулер, құрылыс мониторингі саласындағы тәжірибелі инженерлік қызмет, ҚР ҚН сәйкес ғимараттар мен имараттарды жобалау және есептеу процестерін

автоматтандыру, құрылыстар жұмысын математикалық және компьютерлік модельдеу саласындағы отандық және шетелдік ғалымдардың жұмыстары құрайды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

- өндірістік ғимараттың қызмет жасау мерзімінің қалдықты уақыты мен техникалық жағдайын бағалаудағы ақпараттық технологиялық моделдеуін қолданудың ғылыми және әдістемелік негіздемесі жасалды.

- темірбетон құрылыс конструкцияларының техникалық жағдайына мониторинг жасаумен квази-таратылған талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану негізінде әдісі құралды;

- конструкциялардың бүлінуін ертерек анықтау және болдырмау мақсатында темірбетон конструкцияларының жоғары кернеумен сипатталатын учаскелерінде талшықты-оптикалық датчиктерін орнату арқылы кернеулі-деформацияланған күйін диагностикалау тиімділігінің эксперименттік растамасы алынды;

- құрылыс конструкцияларының техникалық күйін диагностикалау үшін талшықты-оптикалық датчиктер негізінде бағдарламалық-аппараттық кешеннің математикалық және компьютерлік модельдері әзірленді;

- темірбетон құрылыс конструкцияларының техникалық жай-күйінің мониторингі және пайдаланудың қалдық қызмет ету мерзімін болжау әдістемесі квази-таратылған талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану негізінде әзірленді.

Жұмыстың тәжірибелік құндылықтары:

- өндірістік ғимараттың қызмет жасау мерзімінің аяқталу уақыты мен техникалық жағдайын бағалау үшін жаңа бағыт ретінде ақпараттық моделдеу технологиясын жүйелеу және ғылыми-техникалық негіздеуде.

- ғимараттар мен имараттардың техникалық күйінің кезеңдік мониторингі барысында көтергіш конструкцияларының кернеулі-деформацияланған күйін бағалау әдістемесі құрылыс объектілерінің мониторингісін жүргізу қызметімен айналысатын ұйымның зерттеу, талдау және жобалау базасы ретінде пайдаланылуы;

- құрылыс конструкциясының техникалық жағдайының диагностикасына автоматтандыру жүйесін жасауға мүмкіндік беретін, аппараттық-бағдарламалық кешендік бағалаудың математикалық және компьютерлі моделдің жасалуы;

- құралған ғылыми-техникалық сүйемелдеу және құрылыс мониторинг әдістемесі біркелкі емес деформациялардан құрылыс объектілерін пайдалануда қауіпсіздік деңгейін арттыруға мүмкіндік береді.

Автордың жеке қосқан үлесі, ол диссертацияның мақсаты мен міндеттерін құру, зерттеу материалдарын жинау мен жалпылау, санды және эксперименттік зерттеу жүргізу, алынған нәтижелерді интерпретациялау, негізгі ережелері қортындыларды қалыптастыру, диссертация тақырыбы бойынша ғылыми мақалалар жазу.

Жарияланымдар.

Ғылыми зерттеу жұмысы барысында 17 ғылыми жұмыс жарияланды. Оның ішінде 10 мақала Қазақстан мен шетелдің халықаралық ғылыми конференцияларында жарияланды, Scopus ғылыми базаға көретін журналға – 3 мақала, Қазақстан Республикасы Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті бекіткен ғылыми журналда – 4 мақала жарыққа шықты. Сонымен қатар 1 шығармашылық патент; авторлық құқық туралы 1 жеке куәлік алынған.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі.

Диссертациялық жұмыс кіріспе, төрт бөлімін, қорытындысын құрайды және 118 беттен тұрады. Жұмыс 58 суретпен безендірілген, 4 кесте және 143 атаудан тұратын әдебиет тізімінен тұрады.

Диссертацияның қортындысы

«Өнеркәсіптік ғимараттар мен имараттарда ұзақ уақыт бойы пайдаланылатын мониторинг жүйесі цифрлі технология негізінде жасау» тақырыбы бойынша.

Диссертациялық жұмыс құрылыс конструкцияларының техникалық күйін бақылау үшін талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану негізінде жаңа теориялық және эксперименттік нәтижелерге негізделген, маңызды ғылыми жұмысты қамтиды.

Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми және тәжірибелік нәтижелері:

1.Өндірістік ғимараттың техникалық күйі мен қалдық қызмет ету мерзімін бағалау кезінде ақпараттық моделдеу технологиясын қолданудың ғылыми-әдістемелік негіздемесі бойынша талдамалық зерттеулер жүргізілді. Ғимараттар мен имараттарды жобалау, салу және пайдалану процесінде қазіргі заманғы ақпараттық технологияларды қолданудың әлемдік тәжірибесін талдау негізінде ғимараттар мен имараттардың тірек конструкцияларының бұзылуына байланысты зақымдануды ерте диагностикалау кезеңінде ақпараттық технологиялардың тиімділігі белгіленген.

2. Квази-бөлінген талшықты-оптикалық датчиктерді пайдалана отырып, темірбетон құрылыс конструкцияларының техникалық күйіне мониторинг жүргізу әдістемесі әзірленді. Әдістеме ANSYS STATIC STRUCTURAL және COMSOL Multiphysics ДК шекті элементтер әдісін пайдалана отырып, темірбетон конструкцияларының деформациясының әсерін сандық талдау және бағалау үшін оптикалық талшықтың деформациясы процесін тіркеудің эксперименталды нәтижелеріне негізделген.

3.Темірбетон конструкцияларында талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану тиімділігін растайтын конструкцияларға жүктеме факторын ескере отырып, оптикалық талшық материалының бұзылуына эксперименттік

тәуелділік алынды. Заттай зерттеулер мысалында конструкциялардың бұзылуын ерте анықтау және болдырмау мақсатында жоғары кернеумен сипатталатын учаскелердің кернеулі-деформацияланған күйін мониторингілеу және диагностикалау мүмкіндігі белгіленген. Сондай-ақ оптикалық талшықта шаршау жарықшаларының дамуының негізгі факторлары кернеу және деформация амплитудасы, жүктеу циклдерінің ұзақтығы болып табылады.

4. Құрылыс конструкцияларының техникалық күйін диагностикалау үшін пайдаланылатын талшықты-оптикалық датчиктер негізінде құралған бағдарламалық-аппараттық кешен үшін оптикалық процестерді сипаттайтын математикалық және компьютерлік модельдер әзірленді. Ұсынылған математикалық модельдер оптикалық толқынның деформациясымен байланысты барлық процестердің толық сипаттамасын береді, өлшенетін шамаларға сандық мәндерге түрлендіруге мүмкіндік береді.

5. Темірбетон конструкцияларының техникалық күйін бақылауға мүмкіндік беретін талшықты-оптикалық датчиктерді пайдалана отырып фотоматрицаның бетіне түсетін оптикалық талшықтың шетінде қалыптасқан, гауссалық таратумен және толқын ұзындығы 650 нм болатын Пуансон жарық дағы пикселдерінің қарқындылығын спектралдық талдау негізінде, құрылыс конструкцияларының техникалық жай-күйін бақылаудың аппараттық-бағдарламалық кешені әзірленді, оның сыну коэффициенті өзгерген кезде жоғары шешімі алынды.

6. Құрылыс конструкцияларының техникалық күйін бақылаудың ұсынылып отырған талшықты-оптикалық сезімтал квази-таратылған және таратылған типті элементтерді қолдану әдістемесі Астана қаласындағы «Empire Construction» ЖШС нақты құрылыс объектілерінде практикалық байқаудан өтті, байқау нәтижелері Актілермен расталды. АӨК датчиктері Қазақстандық стандарттау және метрология институтында орналасқан СВ-10МГ-4 типті күшті көбейтетін машинаны пайдаланумен калибрленген. Диссертациялық жұмыста талшықты-оптикалық датчиктер мен аппараттық-бағдарламалық кешен негізінде құрылыс конструкцияларының техникалық күйін бақылау әдістемесін әзірлеумен байланысты өзекті ғылыми-техникалық міндет толығымен шешілді.

7. Техникалық күйінің кезеңдік мониторингі үшін ғимараттар мен имараттардың көтергіш конструкцияларының кернеулі-деформацияланған күйін бағалау әдістемесі қызметі құрылыс объектілері мониторингінің тәжірибелік қызметімен байланысты ұйымның зерттеу, талдау және жобалау базасы ретінде пайдаланылуы мүмкін.

Темірбетон конструкцияларын бақылаудың басқа әдістері мен құралдарын салыстырғанда талшықты-оптикалық датчиктар технологиясын қолданудың артықшылығы - энергетикалық тәуелсіздік, отқа төзімділік, нақты уақытта жұмыс істеу мүмкіндігі, электромагниттік кедергілерден тәуелсіздік, ылғалдылық пен температурадан тәуелсіздік, сонымен қатар коррозия және басқа химиялық реагенттерге төзімділік.

Нәтижелер қолданбалы сипатқа ие, сондықтан коммерцияландырудың

жоғары әлеуетіне ие, сонымен қатар пайдалану процесінде темірбетон конструкцияларының техникалық жағдайын диагностикалаудың жаңа технологияларын дамытады. Әлеуметтік әсер пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз ету, ғимараттар мен имараттарды апаттық шығару қаупін азайту болып табылады. Экологиялық әсер бөлшектеуге және жоюға жататын темірбетон бұйымдарының санын азайту болып табылады.

Алынған нәтижелер Индустрия 4.0 бағдарламасының міндеттеріне сәйкес келетін талшықты-оптикалық технологиялар мен жасанды интеллект алгоритмдері негізінде бұзбайтын бақылаудың жаңа отандық ғылыми-техникалық бағытын дамытуға ықпал етеді.

Annotation

Abstract of the dissertation by Aubakirova Bakhytkul Bokaevna, entitled “Development of a monitoring system for continuously operated industrial buildings and structures based on digital technologies,” submitted for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 6D072900 - “Construction”.

Research relevance: The dissertation focuses on the development of a digital system for monitoring the technical condition of building structures, which is crucial for the early diagnosis and prevention of damage to load-bearing structures, ensuring the safety and longevity of industrial facilities.

Relevance of the study: The global experience in construction has long demonstrated the effectiveness of modern information technologies in the design, construction, and operation of buildings and structures. Digital monitoring systems for assessing the technical condition of structures are now highly sought after, as timely response and early diagnosis allow prompt action to address issues related to the deterioration of load-bearing elements. Digital intelligent monitoring systems are especially relevant, as they enable precise, real-time control over the technical condition of various structural elements.

Objective: The goal of the dissertation is to develop and scientifically substantiate a methodology for assessing the stress-strain state (SSS) and the remaining service life of load-bearing structures in industrial buildings using modern information technologies for data collection and processing. The research aims to create new methods for monitoring the stress-strain condition at the onset of cracking and identifying zones of critical stress using quasi-distributed fiber-optic sensors embedded in structural elements during construction, alongside a hardware-software complex for continuous monitoring throughout the building's lifespan.

Research tasks:

1. Conduct an analytical study on the application of information technologies in assessing the technical condition of building structures.
2. Develop the scientific and methodological justification for information modeling technology in assessing the residual service life and technical condition of industrial building structures.

3. Develop a methodology for evaluating the stress-strain state of building structures using information modeling technology.
4. Utilize digital technologies in experimental studies for monitoring the stress-strain state of reinforced concrete structures.
5. Practical implementation of monitoring methodology on prototype structures.
6. Development of a monitoring methodology for the technical condition of reinforced concrete structures and a hardware-software monitoring system.

Object of study: Reinforced concrete structures of industrial buildings subjected to uneven foundation deformations.

Subject of study: Methods and tools for periodic monitoring of the technical condition of load-bearing structures using an automated monitoring system based on quasi-distributed fiber-optic sensors.

Methodological and theoretical basis: This study builds on the work of domestic and foreign scientists in the fields of engineering surveys, structural inspection, geodetic measurements, practical engineering in building monitoring, automation in design processes, and building calculations as per the standards SN RK EN, including mathematical and computer modeling of structures.

Scientific novelty:

- Scientific and methodological substantiation for using information modeling technology in assessing the technical condition and remaining service life of industrial buildings.
- Development of a monitoring methodology for the technical condition of reinforced concrete structures using quasi-distributed fiber-optic sensors.
- Experimental confirmation of the effectiveness of fiber-optic sensors in diagnosing the stress-strain state of high-stress zones to enable early identification and prevention of structural damage.
- Development of mathematical and computer models of a hardware-software complex for the diagnosis of building structures based on fiber-optic sensors.

- Development of a monitoring methodology for the technical condition of reinforced concrete structures based on quasi-distributed fiber-optic sensors for use during operation and in forecasting the remaining service life.

Practical value:

- Systematization and scientific-technical justification of information modeling technology as a new approach for assessing the technical condition and remaining service life of industrial buildings.
- A methodology for assessing the stress-strain state of load-bearing structures during periodic monitoring of their technical condition, which can serve as a research, analytical, and project foundation for organizations engaged in building monitoring.
- Development of a mathematical and computer model of a hardware-software control complex, creating an automated system for diagnosing the technical condition of building structures.
- A scientific-technical support and monitoring methodology for construction, improving the operational safety of buildings experiencing uneven foundation deformations.

Author's contribution: The author contributed by setting the research objectives and tasks, collecting and summarizing research materials, conducting experimental and numerical studies, interpreting results, formulating conclusions, and publishing articles and reports on the dissertation topic.

Publications: The research resulted in 17 scientific publications, including 10 articles presented at international scientific conferences in Kazakhstan and abroad, 3 articles in Scopus-indexed journals, and 4 articles in journals recognized by the Committee for Control in Education and Science of Kazakhstan. Additionally, one creative patent and one certificate of copyright were obtained.

Structure and volume: The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and comprises 118 pages. The work includes 58 figures, 4 tables, and a bibliography of 143 references.

CONCLUSION OF THE DISSERTATION

on the topic «Development of a monitoring system for continuously operated industrial buildings and structures based on digital technologies»

The dissertation presents new scientifically validated theoretical and experimental results, which together are of critical importance for monitoring the technical condition of building structures using fiber-optic sensors. The main scientific and practical results of the dissertation are as follows:

1. An analytical study was conducted to scientifically substantiate the application of information modeling technology in assessing the technical condition and remaining service life of industrial buildings. Based on an analysis of global experience in applying modern information technologies in the design, construction, and operation of buildings and structures, the effectiveness of these technologies was confirmed for the early diagnosis of damage associated with the deterioration of load-bearing structures.
2. A methodology for monitoring the technical condition of reinforced concrete building structures using quasi-distributed fiber-optic sensors was developed. This methodology is based on experimental data for recording the deformation process of optical fibers, allowing for numerical analysis and evaluation of deformation impacts on reinforced concrete structures using the finite element method on ANSYS STATIC STRUCTURAL and COMSOL Multiphysics software.
3. An experimental dependency was obtained that describes material failure in optical fibers, taking into account the load factor on the structure. This confirms the effectiveness of fiber-optic sensors in reinforced concrete structures. Field research demonstrated the potential for monitoring and diagnosing stress-strain states in high-stress areas to enable early detection and prevention of structural failures. It was also found that the main factors in the development of fatigue cracks in optical fibers are stress amplitude, deformation, and loading cycle duration.
4. Mathematical and computer models describing optical processes have been developed for a software-hardware complex based on fiber-optic sensors used to diagnose the technical condition of building structures. These mathematical models provide a complete description of all processes associated with the deformation of the optical wave, enabling transformation into measurable quantities.
5. A hardware-software complex for monitoring the technical condition of reinforced concrete structures was developed based on spectral analysis of the

intensity of Gaussian-distributed Poisson light spots, formed at the edge of an optical fiber with a wavelength of 650 nm, projected onto the surface of a photomatrix. Using fiber-optic sensors, the system enables high-resolution monitoring of the technical state of construction structures when the refractive index changes.

6. The proposed methodology for monitoring the technical condition of construction structures using quasi-distributed and distributed fiber-optic sensitive elements was tested on real construction sites of “Empire Construction” LLP in Astana. The results of the testing were confirmed by official reports. The calibration of the sensors for the hardware-software complex was conducted using a force-multiplying machine of the SV-10MG-4 type located at the Kazakh Institute of Standardization and Metrology. The dissertation fully addresses the relevant scientific and technical challenge of developing a methodology for monitoring the technical condition of building structures using fiber-optic sensors and a hardware-software complex.

7. The developed methodology for assessing the stress-strain state of loadbearing structures in buildings and structures for periodic technical condition monitoring can serve as a research, analytical, and project base for organizations involved in the practical monitoring of building objects.

The advantage of using fiber-optic sensor technology for monitoring reinforced concrete structures, compared to other methods and tools, is its energy independence, fire resistance, real-time operation capability, immunity to electromagnetic interference, independence from humidity and temperature, as well as resistance to corrosion and other chemical reagents.

The results have an applied nature, thus holding high commercialization potential, and also contribute to the development of new technologies for diagnosing the technical condition of reinforced concrete structures during operation. The social impact lies in ensuring operational safety and reducing the risk of emergency evacuation of buildings and structures. The environmental impact is in reducing the number of reinforced concrete products subject to dismantling and disposal.

The obtained results contribute to the development of a new domestic scientific and technical direction in non-destructive testing based on fiber-optic technologies and artificial intelligence algorithms, in line with the objectives of the Industry 4.0 program.

Аннотация
на диссертационную работу Аубакировой Бакыткул Бокаевной
«Разработка системы мониторинга длительно эксплуатируемых
промышленных зданий и сооружений на основе цифровых технологий»
представленную на соискание ученой степени доктора PhD по
специальности 6D072900 – Строительство.

Актуальность исследования: Мировой опыт строительства давно доказал об эффективности применения современных информационных технологий в процессе проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

В современном мире достаточно востребованы цифровые системы мониторинга технического состояния зданий и сооружений. Своевременность реакции и ранняя диагностика повреждений позволяет своевременно принять меры к устранению проблем, связанных с разрушением несущих конструкций зданий и сооружений.

Высокую актуальность в настоящее время приобретают цифровые интеллектуальные системы контроля, которые способны с высокой точностью контролировать техническое состояние различных строительных конструкций в режиме реального времени.

Известная проблема внезапного обрушения строительных монолитных конструкций в процессе их длительной эксплуатации существует достаточно давно и решена не в полном объеме, хотя исследователи разных стран работают над ее решением. Можно сказать, что это достаточно серьезная задача, так как требуется разработка новых средств диагностики и контроля технического состояния строительных конструкций. При этом должны быть обеспечены высокие технико-экономические показатели системы контроля, а также ее относительная простота и адаптивность к климатическим условиям Казахстана.

В настоящее время необходимы надежные методы мониторинга технического состояния конструктивных элементов зданий и сооружений на основе цифровых технологий. Современная тенденция внедрения цифровых технологий позволит решить несколько важных вопросов, касающихся эффективной и безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Проблема внезапного обрушения конструкций после их длительной эксплуатации достаточно известная, для ее решения необходима разработка методов и средств диагностики состояния строительных конструкций. Также необходимо понимать, что предлагаемые технологии должны быть цифровыми и энергоэффективными, отвечать поставленным задачам Индустрии 4.0. Это достаточно серьезный вызов ученым и разработчикам, создающим новые средства диагностики и мониторинга в строительстве.

Необходим научный подход к решению задач обеспечения гарантированной надежности промышленных зданий, сооружений и комплексов длительного пользования на основе их информационной модели, что позволяет контролировать напряженно-деформированное состояние несущих конструкций в автоматическом режиме. Это позволяет эксперту определить характер и динамику развития дефектов и повреждений, заранее принять меры страхового и компенсационного характера для предупреждения аварийных ситуаций.

В век цифровых технологий получили развитие различные электронные системы мониторинга, позволяющие, в том числе, контролировать техническое состояние зданий и сооружений на предмет роста трещин в монолитных бетонных и железобетонных конструкциях. Эта проблема достаточно серьезная и возникает в различных случаях, особенно при нарушении технологических процессов эксплуатации здания.

Соответственно, развитие эффективных средств ранней диагностики контроля напряженно-деформированного состояния несущих конструкций в автоматическом режиме в процессе эксплуатации здания является весьма актуальным.

Целью диссертаций является разработка и научное обоснование методики оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) и остаточного срока службы несущих конструкций производственных зданий с использованием современных информационных технологий получения и обработки данных.

Исследование направлено на разработку новых методов контроля напряженно-деформированного состояния несущих строительных конструкций на стадии образования трещин и определения зон критического напряженного состояния на основе применения квази-распределенных волоконно-оптических датчиков, предварительно встроенных в строительные конструкции на этапе строительства объекта и аппаратно-программного комплекса, для регистрации и мониторинга состояния течение всего срока службы здания или сооружения. Это позволяет оценить техническое состояние всей конструкции в режиме реального времени, в том числе труднодоступные места, спрятанные в оснований здания.

Для достижения указанной цели диссертаций **поставлены следующие задачи:**

1. Аналитические исследования оценки технического состояние различных объектов с использованием информационных технологий.
2. Научно-методическое обоснование применения технологии информационного моделирования при оценке технического состояния и остаточного срока службы производственного здания.

3. Разработка методики оценки напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с использованием технологии информационного моделирования.
4. Экспериментальные исследования мониторинга напряжённо-деформированного состояния железобетонных конструкций с использованием цифровых технологии.
5. Реализована методика мониторинга на примере натуральных конструкций
6. Разработка методики мониторинга технического состояния железобетонных конструкций и способа аппаратно-программного контроля.

Объект исследования: железобетонные конструкции промышленных зданий, находящихся в зоне влияния неравномерных деформаций оснований зданий и сооружений,

Предметом исследования является методы и средства периодического мониторинга технического состояния несущих конструкций, контроль технического состояния железобетонных конструкций промышленных зданий системой автоматизированного мониторинга на основе применения квазираспределенных волоконно-оптических датчиков.

Методологические и теоретические основы исследования составляют работы отечественных и зарубежных ученых в области инженерных изысканий, обследования строительных конструкций, геодезических измерений, практической инженерной деятельности в сфере строительного мониторинга, автоматизации процессов проектирования и расчета зданий и сооружений в соответствии СН РК EN, математическое и компьютерное моделирование работы сооружений.

Научная новизна работы:

- научно и методически обосновано применения технологии информационного моделирования при оценке технического состояния и остаточного срока службы производственного здания;
- разработана методика проведение мониторинга технического состояния железобетонных строительных конструкций с использованием квази-распределенных волоконно-оптических датчиков;
- получено экспериментальное подтверждение эффективности применения волоконно-оптических датчиков (вод) в железобетонных конструкциях, на примере натуральных исследований, для диагностики напряженно-деформированного состояния участков, характеризующихся повышенным напряжением, с целью раннего выявления и предотвращения разрушения конструкций;

- разработана математические и компьютерные модели программно- аппаратного комплекса для диагностики технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков;

- разработана методика мониторинг технического состояния железобетонных строительных конструкций на основе применения квази-распределенных волоконно-оптических датчиков в период эксплуатации и прогнозировании остаточного срока службы.

Практическая ценность работы заключается:

- в систематизации и научно-техническом обосновании технологии информационного моделирования как новое направление для оценки технического состояния и остаточного срока службы производственного здания;

- в методике оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений в ходе периодического мониторинга их технического состояния, который могут быть использованы в качестве исследовательской, аналитической и проектной базой организации, деятельность которых связаны практической деятельностью мониторинга строительных объектов;

- в разработанной математической и компьютерной модели аппаратно- программного комплекса контроля, позволяющей создать автоматизированную систему для диагностики технического состояния строительных конструкций

- в методике научно-технического сопровождения и мониторинга строительства, которая позволяет повысить уровень эксплуатационной безопасности строительных объектов, испытывающих неравномерные деформации основания.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задачи диссертации; сборе и обобщении материалов исследований; проведении экспериментальных и численных исследований, интерпретации полученных результатов, формулировании выводов и основных положений, выносимых на защиту, написании научных статей и докладов по теме диссертации.

Публикации

В ходе исследовательской работы опубликовано 17 научных работ. Из них 10 статей были опубликованы на международных научных конференциях в Казахстане и за рубежом, 3 статьи-в журнале, входящем в научную базу данных Scopus, 4 статьи-в научных журналах, утвержденных комитетом по контролю в сфере образования и науки Республики Казахстан. Также получено 1 творческий патент; 1 личное свидетельство об авторском праве.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает в себя введение, четыре раздела, заключение, и составляет 118 страницы. Работа

иллюстрирована 58 рисунками, содержит 4 таблиц и сопровождается списком литературы, включающим 143 наименования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

по теме «Разработка системы мониторинга длительно эксплуатируемых промышленных зданий и сооружений на основе цифровых технологий».

Диссертационная работа содержит новые научно обоснованные теоретические и экспериментальные результаты, совокупность которых имеет важное значение для контроля технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков. Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Проведено аналитическое исследование по научно-методическому обоснованию применения технологии информационного моделирования при оценке технического состояния и остаточного срока службы производственного здания. На основе анализа мирового опыта применения современных информационных технологий в процессе проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, установлена эффективность информационных технологий на этапе ранней диагностики повреждения, связанных с разрушением несущих конструкций зданий и сооружений.

2. Разработана методика проведения мониторинга технического состояния железобетонных строительных конструкций с использованием квази-распределенных волоконно-оптических датчиков. Методика основана на экспериментальных результатах регистрации процесса деформации оптического волокна для численного анализа и оценки воздействия деформации железобетонной конструкции с использованием метода конечных элементов на ПК ANSYS STATIC STRUCTURAL и COMSOL Multiphysics.

3. Получена экспериментальная зависимость разрушения материала оптического волокна с учетом фактора нагрузки на конструкции, которая подтверждает эффективность применения волоконно-оптических датчиков (вод) в железобетонных конструкциях. На примере натурных исследований, установлена возможность мониторинга и диагностики напряженно-деформированного состояния участков, характеризующихся повышенным напряжением, с целью раннего выявления и предотвращения разрушения конструкций. Также установлена, что основными факторами развития усталостных трещин в оптическом волокне являются амплитуда напряжений и деформации, длительность циклов нагружения.

4. Разработана математические и компьютерные модели, описывающие оптические процессы для программно-аппаратного комплекса,

используемые для диагностики технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков. Представленные математические модели дают полное описание всех процессов, связанных с деформацией оптической волны, позволяет преобразовать в численные значения в измеряемые величины.

5. Разработан аппаратно-программный комплекс контроля технического состояния строительных конструкций с использованием волоконно-оптических датчиков, позволяющий контролировать техническое состояние монолитных железобетонных конструкций на основе спектрального анализа интенсивности пикселей светового пятна Пуансона, с гауссовским распределением и длиной волны 650 нм, сформированного на торце оптического волокна, падающего на поверхность фотоматрицы высокого разрешения при изменении его коэффициента преломления.

6. Предлагаемая методика контроля технического состояния строительных конструкций с применением волоконно-оптических чувствительных элементов квази-распределенного и распределённого типа прошла практическую апробацию на реальных строительных объектах ТОО «Empire Construction» города Астаны, результаты апробации подтверждены актами. Датчики АПК были откалиброваны использованием силовоспроизводящей машины типа СВ-10МГ-4, которая находится в Казахском институте стандартизации и метрологии. В диссертационной работе полностью решена актуальная научно-техническая задача, связанная с разработкой методики контроля технического состояния строительных конструкций на основе волоконно-оптических датчиков и аппаратно-программного комплекса.

7. Методика оценки напряженно-деформированного состояния несущих конструкций зданий и сооружений для периодического мониторинга технического состояния, могут быть использованы в качестве исследовательской, аналитической и проектной базой организации, деятельность которых связаны практической деятельностью мониторинга строительных объектов.

Преимущества использования технологии волоконно-оптических датчиков для контроля железобетонных конструкций по сравнению с другими методами и средствами заключаются в энергетической независимости, огнестойкости, возможности работы в реальном времени, независимости от электромагнитных помех, а также устойчивости к влажности, температуре, коррозии и другим химическим реагентам.

Полученные результаты имеют прикладной характер и высокий потенциал для коммерциализации, а также способствуют развитию новых технологий диагностики технического состояния железобетонных конструкций в процессе эксплуатации. Социальный эффект заключается в обеспечении безопасности эксплуатации и снижении риска аварийных разрушений зданий и сооружений. Экологический эффект состоит в

уменьшении количества железобетонных изделий, подлежащих демонтажу и утилизации.

Полученные результаты способствуют развитию нового отечественного научно-технического направления неразрушающего контроля на основе волоконно-оптических технологий и алгоритмов искусственного интеллекта, соответствующего задачам программы Индустрия 4.0.