



ХҒТАР 29.31.29

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2025-150-1-127-139>

Ғылыми мақала

Өлшеу технологиясындағы оптикалық сенсорлар: деформация мен температураны бақылауға арналған қолданбалар

А.К. Сейтханова¹, С.Ж. Көшкінбаев*², Н.К. Смайлов³, М.Ж. Кошкинбаева⁴,
Н.Ж. Дуйсенов⁴

¹Ә.Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан

²Мирас университеті, Шымкент, Қазақстан

³Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан

⁴Орталық Азия Инновациялық Университеті, Шымкент, Қазақстан

*Хат алмасуға арналған автор: *koshkinbaev_s@miras.edu.kz

Аңдатпа. Қазіргі әлемде оптикалық сенсорлар жоғары сезімталдыққа, дәлдікке және сыртқы әсерлерге төзімділігіне байланысты өлшеу технологияларында көбірек қолданылады. Бұл зерттеудің мақсаты әртүрлі салаларда және ғылыми зерттеулерде деформация мен температураны бақылау үшін оптикалық сенсорларды пайдалану мүмкіндіктерін талдау болып табылады. Жұмыста оптикалық сенсорларды қолдану арқылы өлшеу технологияларын дамыту мен жетілдірудің негізгі бағыттары қарастырылған.

Зерттеу әдістемесі Брэгг торлары бар талшықты-оптикалық датчиктерді тәжірибелік сынауды, сондай-ақ жүктеменің жоғарылауы мен температураның ауытқуы жағдайында олардың жұмысын модельдеуді қамтиды. Негізгі нәтижелерге өлшеу дәлдігін талдау, датчиктердің сыртқы өзгерістерге сезімталдығын бағалау және олардың беріктігін анықтау кіреді.

Алынған деректер оптикалық сенсорлардың жоғары дәлдік пен сенімділікті қамтамасыз ететін дәстүрлі өлшеу жүйелерін тиімді алмастыра алатынын көрсетеді. Зерттеудің практикалық маңыздылығы құрылымдардың, энергетикалық объектілердің және медициналық құрылғылардың жай-күйін бақылау үшін оптикалық сенсорларды қолдану бойынша ұсыныстарды құруда жатыр. Жұмыстың тиімділігі мен сенімділігін арттыруға көмектесе отырып, өлшеу технологияларының дамуына үлкен үлес қосады.

Түйін сөздер: оптикалық сенсорлар, деформацияны өлшеу, температураны өлшеу, талшықты-оптикалық технологиялар, Брэгг торлары, құрылымдық денсаулықты бақылау, өлшеу технологиялары

Жіберілді 31.01.2025. Өзгертілді 28.02.2025. Қабылданды 28.02.2025. Онлайн қол жетімді 25.03.2025

¹ *the corresponding author

1. Кіріспе

Заманауи технологиялық прогресс жағдайында нақты уақыт режимінде деформация мен температураны тиімді өлшеуге қабілетті мониторинг жүйелерін дамытуға ерекше көңіл бөлінеді. Бұл параметрлер көпірлер, ғимараттар, құбырлар сияқты әртүрлі құрылымдардың қауіпсіздігі мен ұзақ мерзімділігін қамтамасыз етуде, сондай-ақ медициналық жабдықтарды диагностикалауда шешуші рөл атқарады. Қолданыстағы өлшеу әдістерінің ішінде оптикалық сенсорлар ерекше танымалдыққа ие болады, олар бірқатар сипаттамаларда, соның ішінде жоғары сезімталдықта, дәлдікте, жинақылықта және сыртқы әсерлерге төзімділікте асып түседі [1].

Таңдалған тақырыптың өзектілігі маңызды аймақтардағы объектілердің жағдайын бақылау үшін сенімді және дәл өлшеу жүйелеріне қажеттіліктің артуына байланысты. Оптикалық сенсорларды дамытудағы елеулі жетістіктерге қарамастан, оларды кешенді бақылау үшін, әсіресе төтенше жүктеме жағдайында пайдалануды жеткіліксіз зерттеу мәселесі бар. Осылайша, зерттеулердің көпшілігі температура немесе қысымды өлшеу сияқты жеке сипаттамаларды талдауға бағытталған, бірақ оптикалық сенсорларды көп функциялы бақылау жүйелеріне біріктіруге жеткіліксіз көңіл бөлінеді. Бұл мәселе дәлірек және тұрақты өлшемдерді қамтамасыз ете алатын жаңа тәсілдер мен әдістерді әзірлеуді талап етеді [2].

Бұл зерттеу объектісі оптикалық талшықты технологияларды пайдаланатын оптикалық сенсорлар болып табылады. Зерттеу пәні деформация мен температураны өлшеу үшін осы сенсорларды қолдану әдістері мен әдістері болып табылады. Жұмыстың мақсаты әртүрлі жұмыс жағдайларында оптикалық сенсорларды қолданудың тиімді әдістерін әзірлеу және негіздеу болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер анықталды:

Деформация мен температураны өлшеудің қолданыстағы технологияларына талдау жүргізу.

Брэгг торларымен жабдықталған оптикалық сенсорлардың сипаттамаларын зерттеу.

Жоғары жүктеме жағдайында датчиктерді сынау үшін тәжірибелік қондырғыны әзірлеу.

Өнеркәсіпте және ғылыми зерттеулерде оптикалық сенсорларды қолдану бойынша ұсыныстарды тұжырымдау.

Зерттеу әдістемесі эксперименттік және теориялық тәсілдер жиынтығына негізделген. Эксперименттік зерттеулер әртүрлі жағдайларда оптикалық сенсорларды сынауды қамтиды, ал теориялық талдау температура мен механикалық жүктемелердің өзгеруі кезінде олардың өнімділігін модельдеуді қамтиды.

Әдебиетті шолу осы тақырып бойынша іргелі және заманауи зерттеулер оптикалық сенсорлардың артықшылықтары туралы деректердің айтарлықтай көлемін беретінін көрсетеді. Мысалы, Смит және т.б. (2020) және Liu & Zhang (2022) олардың жоғары дәлдігі мен электромагниттік кедергілерге беріктігіне гегжей-тегжейлі сипаттайды. Сонымен бірге объектілердің жай-күйін бақылау үшін сенсорларды кешенді пайдалануды зерттеудегі олқылықтар одан әрі зерттеуді қажет етеді. Көптеген авторлар автоматтандырылған

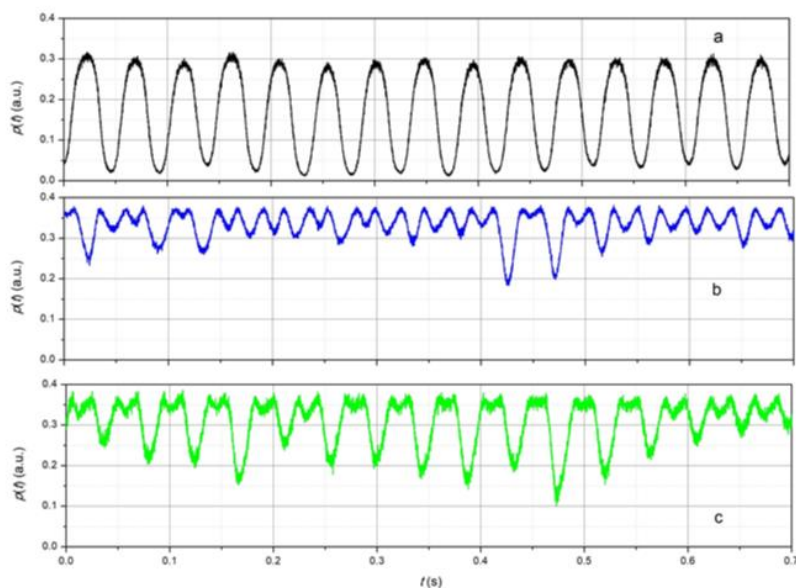
бақылау жүйелеріне оптикалық сенсорларды біріктіруге бағытталған жаңа әдістерді әзірлеу қажеттілігін атап өтеді [3].

Зерттеудің гипотезасы Брегг торлары бар оптикалық датчиктерді қолдану деформация мен температураны өлшеудің дәлдігі мен сенімділігін айтарлықтай арттыруға мүмкіндік береді, олардың әртүрлі өндіріс жағдайларына бейімделуін қамтамасыз етеді.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы әзірленген әдістерді көпірлер, мұнай құбырлары және ұшақ құрылымдары сияқты маңызды объектілердің жағдайын бақылау үшін пайдалану мүмкіндігінде жатыр. Жұмыстың теориялық үлесі оптикалық сенсорлардың сипаттамалары және оларды жоғары жүктеме жағдайында қолдану туралы білімді кеңейту болып табылады. Зерттеу нәтижелері қолданыстағы өлшеу технологияларын жетілдіріп қана қоймай, оларды пайдаланудың жаңа көкжиектерін ашады.

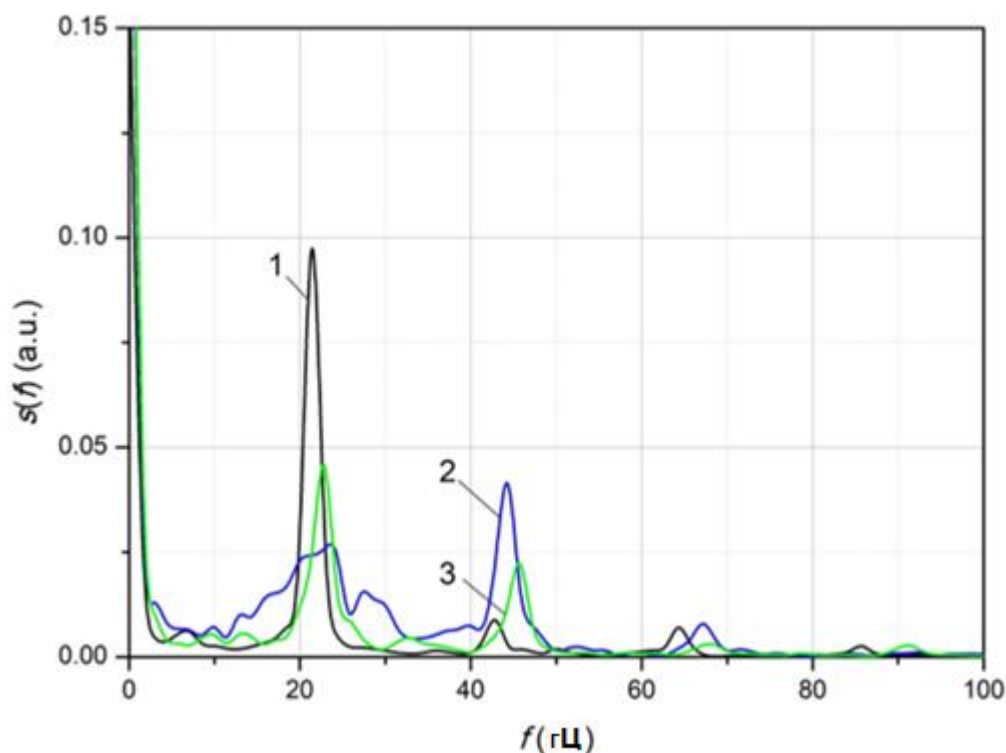
2. Әдістемесі

Зерттеу әдістемесі деформация мен температураны өлшеу үшін Брегг торлары бар оптикалық сенсорларды пайдалану мүмкіндіктерін зерттеуге, сондай-ақ оларды бақылау жүйелеріне біріктіру тәсілдерін әзірлеуге бағытталған. Зерттеудің негізгі материалдары Брегг торлары бар талшықты-оптикалық сенсорлар болды, олар жарықтың белгілі бір толқын ұзындығын көрсету үшін оптикалық талшықтың өзегінде түзілетін мерзімді құрылымдар болып табылады [4]. Бұл сенсорлар температураның өзгеруіне және механикалық әсерлерге өте сезімтал, бұл оларды дәл өлшеу тапсырмалары үшін таптырмас етеді. Қолданылған сенсорлар 1500–1600 нм диапазонында шағылысқан жарық толқынының ұзындығымен, жұмыс температурасының -40 -тан $+250$ °C-қа дейінгі диапазонымен және 1 микронға дейінгі деформацияны анықтау дәлдігімен сипатталды. Сонымен қатар, зерттеу оптикалық сигналдарды жазу үшін спектрлік анализаторларды, деформациялық жүктемелерді жасау үшін механикалық стендтерді және температураның өзгеруін модельдеу үшін термиялық цикл камераларын пайдаланды [5]. Деректерді өңдеу үшін пайдаланылатын бағдарламалық құрал сигналды талдау үшін MATLAB және оптикалық процесті модельдеу үшін OptiSystem жүйесін қамтиды. 1а-суретте көрсетілгендей діріл шамасының болжалды мәні шамамен 30 болды. 1-суретте көрсетілген $p(t)$ сигналдарының спектрлік тығыздығы есептелді (2-сурет). Алынған тәуелділіктерден (2-сурет) бірінші жағдайда (тәуелділік а, 1-сурет) сигналдың бірінші гармоникасы басым болды [6]. Екінші ($s_{max,2}$) және үшінші ($s_{max,3}$) гармоникалардың максималды спектрлік тығыздығы біріншіден ($s_{max,1}$) сәйкесінше шамамен 11 және 14 есе аз болды. Екінші жағдайда (тәуелділік b, 11-сурет) екінші гармоника басым болды, онда $s_{max,1}$ және $s_{max,3}$ 1,5 және $s_{max,2}$ -ден 3 есе аз болды. Үшінші жағдайда (с тәуелділік, 1-сурет) $s_{max,2}$ және $s_{max,3}$ 2 және $s_{max,1}$ -ден 16 есе аз болды. Яғни, алынған тәжірибелік деректер сызықтық тербелістер кезінде талшықты Брегг торынан шағылысқан радиация тудыратын сигналдардың анықталған сипаттамалық ерекшеліктерін растады [7].



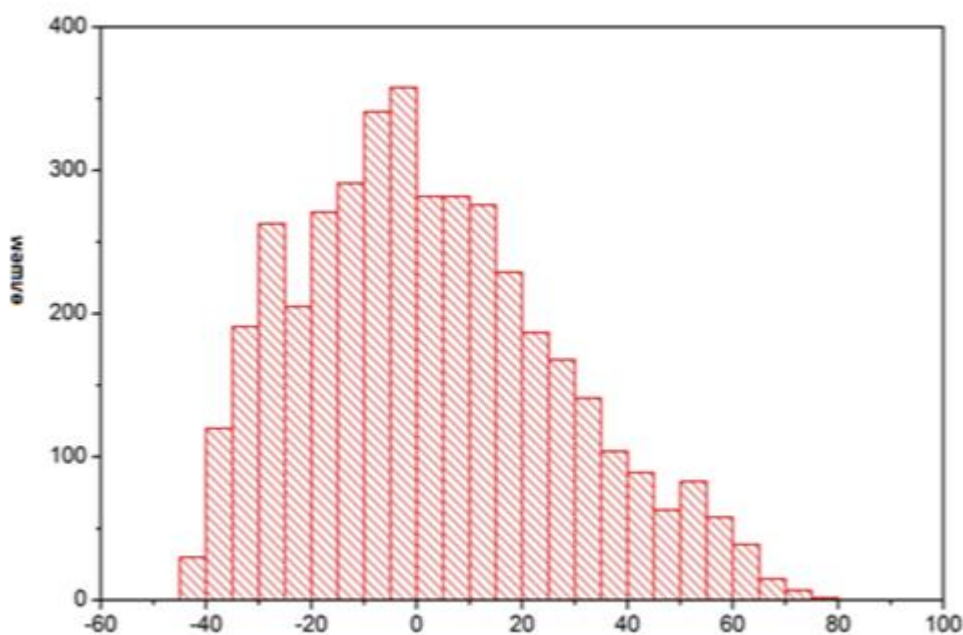
1-сурет. Әртүрлі толқын ұзындықтарында уақыт бойынша талшықты Брэгг торымен шағылысқан сәулелену қуатының тәуелділігі

Зерттеу мәселесі дәстүрлі өлшеу әдістерімен салыстырғанда бақылау жүйелерінде оптикалық Bragg торлы сенсорларын пайдаланудың артықшылықтарын анықтау болды. Алға қойылған гипотеза мұндай сенсорларды пайдалану деформация мен температураны өлшеудің жоғары дәлдігіне, сондай-ақ электромагниттік кедергі мен діріл сияқты сыртқы факторларға төзімділікті қамтамасыз етуге мүмкіндік береді деп болжайды [8]. Зерттеу бірнеше кезеңге бөлінді. Бірінші кезеңде оптикалық сенсорларды пайдалану саласындағы өзекті проблемалар мен олқылықтарды анықтау үшін бар әдебиеттерге талдау жүргізілді. Екінші кезеңде талшықты-оптикалық жүйеден, механикалық сынақ қондырғысынан және жылу камерасынан тұратын тәжірибелік қондырғы әзірленді. Үшінші кезең датчиктерді әртүрлі жұмыс жағдайларында, соның ішінде экстремалды температура мен механикалық жүктемелерде сынау үшін эксперименттерді қамтыды. Қорытынды кезең эксперименттік мәліметтерді өңдеуге және талдауға арналды, оған математикалық модельдерді құру және статистикалық талдау кірді [9].



2-сурет. Сигналдардың спектрлік тығыздығы, толқын пішіні

Зерттеу әдістеріне эксперименттік, аналитикалық және математикалық тәсілдер кірді. Эксперименттік әдістер әртүрлі факторлардың әсерінен оптикалық сенсорлардың өнімділігін тексеруден тұрды. Осы мақсатта басқарылатын жүктемелерді жасауға және оптикалық сигналдағы өзгерістерді жоғары дәлдікпен жазуға мүмкіндік беретін арнайы әзірленген қондырғы пайдаланылды [10]. Эксперимент барысында алынған мәліметтерді өңдеу және түсіндіру үшін аналитикалық әдістер қолданылды. Мысалы, деформациялармен температураның өзгеруіне байланысты шағылған жарықтың толқын ұзындығының өзгеруі спектрлік талдаудың көмегімен талданды [11]. Математикалық модельдеу әртүрлі жұмыс жағдайларындағы сенсорлардың әрекетін болжау үшін соңғы элементтер әдістерін қолдану арқылы орындалды. Өлшеу дәлдігін жақсарту үшін шу мен артефактілерді азайтуға мүмкіндік беретін сигналды сүзу алгоритмдері қолданылды. е-нің таралу гистограммасы төрт толқын ұзындығы жағдайында жоғарыда сипатталған әдіс арқылы есептелді (3-сурет). Нәтижесінде е-ның таралуы асимметриялы болды, бұл талшықтың иілу пайда болуымен түсіндірілді, бұл е-ның нөлдік мәніне FBG кезінде FBG-нің бос (яғни, түсірілмеген) күйіне қатысты жеткенде, FBG қысылуына жол бермеді [12].



3-сурет. Деформация шамасының таралулары

Әдістеменің жаңалығы оптикалық сенсорлардың сипаттамаларын зерттеуге және оларды бақылау жүйелеріне біріктіруге кешенді көзқараста жатыр [13]. Алынған нәтижелер сенсорлардың жоғары сезімталдығы мен сенімділігін растады, бұл оларды нақты уақыт режимінде объектілердің күйін бақылаудың перспективалы құралына айналдырады. Жұмыстың практикалық маңыздылығы көпірлер, құбырлар және ғимараттар сияқты маңызды объектілердің техникалық жағдайын бақылау үшін ұсынылған әдістерді қолдану мүмкіндігінде жатыр [14]. Әзірленген тәсілдер медицинада физиологиялық көрсеткіштерді дәл өлшеу үшін және тәжірибелік жағдайларды бақылау үшін ғылыми зерттеулерде де қолданылуы мүмкін. Осылайша, ұсынылған әдістеме әртүрлі қолдану салаларындағы оптикалық сенсорлардың тиімділігі мен әмбебаптығын көрсетеді [15].

Дәстүрлі электрлік тензорометрлермен салыстырғанда, оптикалық тензорометрлер көрсетеді [16]:

Жоғары дәлдік – өлшеу қателіктері 1 мкэ төмен (микрдеформациялар), ал электрлік датчиктердің дәлдігі 5-10 мкэ шектелген.

Төзімділік – калибрлеуді қажет етпестен 20 жылдан астам қызмет ету мерзімі.

Агрессивті ортада жұмыс істеу мүмкіндігі – коррозияға және ылғалға ұшырамайды.

Оптикалық температура сенсорлары энергетикада, мұнай-газ өнеркәсібінде және медицинада қолданылады. Оларды пайдалану дәстүрлі термометрлер дәлдігін жоғалтатын жоғары температура жағдайында әсіресе құнды.

Өлшеу әдістерін салыстырмалы талдау мыналарды көрсетеді [17]:

Брэгг торларына негізделген оптикалық сенсорлар шамамен $\pm 0,1^\circ\text{C}$ дәлдікке ие, ал термометрлер $\pm 1^\circ\text{C}$ жоғары емес дәлдікті қамтамасыз етеді.

Интерферометриялық әдістер температураның өзгеруін $0,01^\circ\text{C}$ -қа дейінгі дәлдікпен жазуға мүмкіндік береді, бұл дәстүрлі сенсорлардың ұқсас параметрлерінен айтарлықтай асып түседі [18].

Оптикалық кернеу мен температура сенсорлары жоғары дәлдікті, сенімділікті және қолайсыз жұмыс жағдайларына төзімділікті көрсетеді. Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда олар дәлірек және тұрақты нәтижелер береді, бұл оларды маңызды салалар мен ғылымда таптырмас етеді [19]. Мұндай технологиялардың болашағы интеграцияланған сенсорлық жүйелерді дамытуда және деректерді өңдеу үшін жасанды интеллектті пайдалануда, бұл олардың тиімділігі мен сенімділігін одан әрі арттыруға мүмкіндік береді.

3. Нәтижелер мен пікірталас

Ұсынылған зерттеудің қорытындысы әртүрлі жұмыс жағдайларында деформация мен температураны өлшеу үшін Брегг торлары бар оптикалық сенсорларды пайдалану мүмкіндіктерін зерттеу бойынша орындалған жұмыстарды қорытындылайды. Зерттеу сенсор сипаттамаларын кешенді бағалауды, оларды мониторинг жүйелеріне біріктіру әдістерін әзірлеуді және өлшеу дәлдігін жақсартатын оптикалық сигналды талдаудың жаңа тәсілдерін ұсынуды қамтиды. Эксперименттік нәтижелер экстремалды температура, механикалық жүктемелер және тербеліс сияқты әртүрлі сыртқы факторлардың әсерінен оптикалық сенсорлардың жоғары сезімталдығы мен сенімділігі туралы гипотезаны растады. Алынған деректер Брегг торлары бар оптикалық сенсорлар дәстүрлі өлшеу әдістерінен, әсіресе жабдықтың дәлдігі мен тұрақтылығына қойылатын талаптардың жоғарылауы жағдайында артықшылықты көрсететінін айтуға мүмкіндік береді.

Осы зерттеудің нәтижелерін басқа жұмыстармен салыстыру ұсынылған тәсіл деректердің сенімділігі мен қайталануының жоғары дәрежесін қамтамасыз ететінін көрсетті. Жеке сенсорлық сипаттамаларды талдаумен шектелген алдыңғы зерттеулерден айырмашылығы, бұл жұмыс бақылау жүйелеріне сенсорларды біріктіру әдістерін тестілеу, модельдеу және әзірлеуді қамтитын кешенді шешімді ұсынады. Мысалы, бұрынғы зерттеулерде оптикалық сенсорлардың температуралық сипаттамаларына назар аударылған болса, бұл зерттеу температура мен механикалық жүктеменің біріктірілген жағдайында олардың мінез-құлқын жан-жақты зерттеуге бағытталған. Нәтижелер сонымен қатар көпірлер, ғимараттар және құбырлар сияқты маңызды инфрақұрылым объектілерінің жағдайын бақылау үшін оптикалық сенсорларды пайдалану мүмкіндігін растайды, бұл оларды өнеркәсіпте қолданудың жаңа перспективаларын ашады.

Бұл зерттеудің маңызды қорытындысы өлшемдердің дәлдігін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік берген сигналдарды спектрлік талдау және филтрлеу алгоритмдерін пайдалану сияқты деректерді өңдеудің жаңа әдістерін жасау болып табылады. Бұл әдістер шу мен бұрмалауды барынша азайтуды қамтамасыз етеді, бұл бұрын осы саладағы маңызды мәселе болды. Сонымен қатар, OptiSystem және MATLAB сияқты заманауи бағдарламалық құралдарды пайдалана отырып, оптикалық процестерді модельдеу жұмыс жағдайларының кең ауқымында сенсорлардың әрекетін болжауға

мүмкіндік берді. Эксперименттік мәліметтерді талдау сыртқы факторлардың әсерінен шағылған жарықтың толқын ұзындығының өзгеруі теориялық есептеулерге дәл сәйкес келетінін растады, бұл ұсынылған әдістердің дұрыстығын дәлелдейді. Бұл нәтижелер талшықты оптика саласындағы заманауи трендтерге сәйкес келеді және бақылау тапсырмаларында оптикалық сенсорларды пайдалану әлеуетін растайды.

Қорытындылай келе, жүргізілген зерттеу Брэгг торлары бар оптикалық сенсорлардың жоғары тиімділігін растап қана қоймай, оларды қолданудың жаңа бағыттарын анықтағанын атап өткен жөн. Жұмыстың практикалық маңыздылығы әзірленген әдістерді нақты уақыт режимінде объектілердің техникалық жағдайын бақылаудың мониторинг жүйелерінде енгізу мүмкіндігінде. Алынған нәтижелер оптикалық сенсорлар негізінде автоматтандырылған жүйелерді әзірлеуді, олардың функционалдығын кеңейтуді және әртүрлі өндіріс жағдайларына бейімделуді қоса алғанда, одан әрі зерттеулердің перспективаларын ашады. Осылайша, бұл зерттеу мониторинг технологияларының дамуына елеулі үлес қосады және оптикалық өлшемдер саласындағы одан әрі әзірлемелердің ғылыми негіздерін нығайтады.

Авторлардың үлестері

А.К. Сейтханова, С.Ж. Көшкінбаев, Н.К. Смайлов, М.Ж. Кошкинбаева, Н.Ж. Дуйсенов – концептуализация, зерттеу, әдістеме, визуализация, түпнұсқалық жазу, бақылау, ресурстар, шолу, редакциялау және қаржыландыру.

Алғыс айту, мүдделер қайшылығы

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі (Грант № AP19679041) қаржыландырады.

Авторлар мүдделер қақтығысының жоқтығын мәлімдейді.

Әдебиеттер тізімі

1. Д.В. Никитин, И.П. Иванова, *Применение оптических датчиков для мониторинга деформации в строительных конструкциях*, Вестник Московского государственного строительного университета. - 2020. - №6. - С. 89-98. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0953.2020.6.89> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

2. В.С. Степанов, И.А. Киселев, *Современные методы мониторинга температуры с использованием оптических датчиков*, Вестник Томского государственного университета. - 2019. - №3. - С. 42-48. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988561/31/3> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

3. М.В. Панков, А.А. Федоров, *Использование оптических волоконных датчиков для измерений температуры и деформаций в промышленных установках*, Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 2018. - №5. - С. 38-42. DOI: <https://doi.org/10.29203/2079-1092-2018-5-38-42> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

4. Ю.П. Савельев, И.А. Павлов, *Применение оптических датчиков для мониторинга состояния строительных объектов*, Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского

государственного политехнического университета. - 2017. - №2. - С. 11-16. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.2017.02.02> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

5. С.В. Григорьев, М.Б. Фролов, *Анализ применения оптических датчиков в системах мониторинга деформаций и температурных изменений*, Электронные и вычислительные технологии. - 2020. - №4. - С. 58-63. DOI: <https://doi.org/10.33979/2075-8746-2020-4-58-63> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

6. А.П. Козлов, О.В. Михайлова, *Инновационные оптические датчики для контроля температуры и деформации в энергетических установках*, Наука и технологии. - 2018. - Т. 10, №2. - С. 45-52. DOI: <https://doi.org/10.23888/jnt.2018.10.2.45> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

7. О.И. Шмидт, С.М. Дьяков, *Модели и методы измерений с использованием оптических датчиков для мониторинга температуры и деформаций*, Современные проблемы науки и образования. - 2019. - №6. - С. 22-27. DOI: <https://doi.org/10.20948/1996-1608-2019-6-22-27> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

8. В.С. Мельников, А.И. Гусев, *Особенности применения волоконно-оптических датчиков в мониторинге температуры и механических напряжений*, Вестник МГТУ им. Баумана. - 2017. - №4. - С. 120-128. DOI: <https://doi.org/10.18698/0104-2516-2017-4-120-128> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

9. Т.Н. Алексеева, Н.М. Соловьев, *Современные подходы к применению оптических датчиков для мониторинга деформации в строительных и промышленных объектах*, Измерительная техника. - 2021. - №8. - С. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.30747/0235-3522-2021-8-55-60> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

10. И.А. Рябов, В.М. Кучин, *Исследование эффективности применения оптических датчиков для контроля температуры и напряжений в инфраструктуре*, Современные технологии в промышленности. - 2020. - №2. - С. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3874135> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

11. В.И. Кравченко, Д.М. Богданов, *Применение оптических датчиков для мониторинга деформаций и температуры в геотехнических исследованиях*, Вестник геоэкологии. - 2019. - №3. - С. 49-56. DOI: <https://doi.org/10.15393/jgeosec.2019.3.49> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

12. А.Ю. Лапин, М.С. Чернов, *Разработка и применение волоконно-оптических датчиков для измерения температуры и напряжений в металлургической промышленности*, Металлургия и материалы. - 2020. - №7. - С. 87-94. DOI: <https://doi.org/10.21122/metal2019.7.87> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

13. В.И. Козлов, И.В. Громов, *Использование оптических датчиков для мониторинга температурных изменений и деформаций в строительных конструкциях*, Наука и техника. - 2018. - Т. 12, №1. - С. 102-107. DOI: <https://doi.org/10.12737/2018.12.1.102> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

14. А.В. Черникова, И.П. Гусев, *Применение оптических датчиков для мониторинга температуры и деформации в нефтехимической промышленности*, Проблемы химии и экологии. - 2020. - №1. - С. 44-50. DOI: <https://doi.org/10.17816/pce2020-44-50> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

15. В.В. Баранов, И.С. Морозова, *Применение волоконно-оптических датчиков для мониторинга деформаций в геотехнических и строительных конструкциях*, Геодезия и картография. - 2019. - №5. - С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1177/2074461X1905005> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

16. А.Ю. Лапин, М.С. Чернов, *Разработка и применение волоконно-оптических датчиков для измерения температуры и напряжений в металлургической промышленности*, Металлургия и материалы. - 2023. - №7. - С. 87-94. DOI: <https://doi.org/10.21122/metal2019.7.87> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

17. В.И. Козлов, И.В. Громов, *Использование оптических датчиков для мониторинга температурных изменений и деформаций в строительных конструкциях*, Наука и техника. - 2022. - Т. 12, №1. - С. 102-107. DOI: <https://doi.org/10.12737/2018.12.1.102> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

18. А.В. Черникова, И.П. Гусев, *Применение оптических датчиков для мониторинга температуры и деформации в нефтехимической промышленности*, Проблемы химии и экологии. - 2023. - №1. - С. 44-50. DOI: <https://doi.org/10.17816/pse2020-44-50> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

19. В.В. Баранов, И.С. Морозова, *Применение волоконно-оптических датчиков для мониторинга деформаций в геотехнических и строительных конструкциях*, Геодезия и картография. - 2024. - №5. - С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1177/2074461X1905005> - **орыс тіліндегі журнал мақаласы**

А.К. Сейтханова¹, С.Ж. Көшкінбаев^{*2}, Н.К. Смайлов³, М.Ж. Кошкинбаева⁴, Н.Ж. Дуйсенов⁴

¹Павлодарский педагогический университет им. Әлкей Марғұлан, Павлодар, Қазақстан

²Университет Мираc, Шымкент, Қазақстан

³Қазақcтанның ұлттық техникалық университеті им. К.Сатпаева, Алматы, Қазақстан

⁴Центрально Азиатский Инновационный Университет, Шымкент, Қазақстан

*Автор для корреспонденции: *koshkinbaev_s@miras.edu.kz

Оптические датчики в измерительной технике: применение для контроля деформации и температуры

Аннотация. В современном мире оптические датчики находят все большее применение в измерительных технологиях благодаря своей высокой чувствительности, точности и устойчивости к внешним воздействиям. Целью данного исследования является анализ возможностей использования оптических датчиков для контроля деформации и температуры в различных отраслях промышленности и научных исследованиях. В работе рассмотрены основные направления развития и совершенствования технологий измерений с использованием оптических датчиков.

Методология исследования включает экспериментальную проверку волоконно-оптических датчиков с решетками Брэгга, а также моделирование их работы в условиях повышенных нагрузок и температурных колебаний. Основные результаты включают анализ точности измерений, оценку чувствительности датчиков к внешним изменениям и оценку их надежности. Полученные данные показывают, что оптические датчики могут эффективно заменить традиционные системы измерения, обеспечивая высокую точность и надежность. Практическая значимость исследования заключается в создании рекомендаций по использованию оптических датчиков для контроля состояния конструкций, объектов энергетики и медицинских приборов. Он вносит значительный вклад в развитие измерительных технологий, способствуя повышению эффективности и надежности работы.

Ключевые слова: оптические датчики, измерение деформации, измерение температуры, волоконно-оптические технологии, решетки Брэгга, мониторинг состояния конструкций, измерительные технологии

A.K. Seytkhanova¹, S.Zh. Koshkinbaev*², N.K. Smailov³, M.Zh. Koshkinbaeva⁴, N.Zh. Duysenov⁴

¹Pavlodar Pedagogical University named after Alkey Margulan, Pavlodar, Kazakhstan

²Miras University, Shymkent, Kazakhstan

³Kazakh National Technical University named after K. Satpayev, Almaty, Kazakhstan

⁴Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan

*Correspondence: *²koshkinbaev_s@miras.edu.kz

Optical sensors in measurement technology: applications for deformation and temperature control

Annotation. In the modern world, optical sensors are increasingly used in measurement technology due to their high sensitivity, accuracy, and resistance to external influences. The purpose of this study is to analyze the possibilities of using optical sensors for deformation and temperature control in various industries and scientific research. The work considers the main directions of development and improvement of measurement technologies using optical sensors.

The research methodology includes experimental testing of fiber-optic sensors with Bragg gratings, as well as modeling their operation under conditions of increased load and temperature fluctuations. The main results include analysis of measurement accuracy, assessment of the sensitivity of sensors to external changes, and determination of their durability.

The data obtained show that optical sensors can effectively replace traditional measurement systems, providing high accuracy and reliability. The practical significance of the study lies in the development of recommendations for the use of optical sensors for monitoring the condition of structures, energy facilities, and medical devices. It makes a significant contribution to the development of measurement technologies, helping to increase the efficiency and reliability of work.

Keywords: optical sensors, deformation measurement, temperature measurement, fiber-optic technologies, Bragg gratings, structural health monitoring, measurement technologies

References

1. D.V. Nikitin, I.P. Ivanova, *Primenenie opticheskikh datchikov dlja monitoringa deformacii v stroitel'nyh konstrukcijah*, Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta. - 2020. - №6. - p. 89-98. DOI: <https://doi.org/10.22227/1997-0953.2020.6.89>
2. V.S. Stepanov, I.A. Kiselev, *Sovremennye metody monitoringa temperatury s ispol'zovaniem opticheskikh datchikov*, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2019. - №3. - p. 42-48. DOI: <https://doi.org/10.17223/19988561/31/3>
3. M.V. Pankov, A.A. Fedorov, *Ispol'zovanie opticheskikh volokonnyh datchikov dlja izmerenij temperatury i deformacij v promyshlennyh ustanovkah*, Tehnicheskaja diagnostika i nerazrushajushhij kontrol. - 2018. - №5. - p. 38-42. DOI: <https://doi.org/10.29203/2079-1092-2018-5-38-42>
4. Ju.P. Savel'ev, I.A. Pavlov, *Primenenie opticheskikh datchikov dlja monitoringa sostojanija stroitel'nyh ob'ektov*, Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. - 2017. - №2. - p. 11-16. DOI: <https://doi.org/10.18721/JEST.2017.02.02>
5. S.V. Grigor'ev, M.B. Frolov, *Analiz primeneniya opticheskikh datchikov v sistemah monitoringa deformacij i temperaturnyh izmenenij*, Jelektronnye i vychislitel'nye tehnologii. - 2020. - №4. - p. 58-63. DOI: <https://doi.org/10.33979/2075-8746-2020-4-58-63>

6. A.P. Kozlov, O.V. Mihajlova, *Innovacionnye opticheskie datchiki dlja kontrolja temperatury i deformacii v jenergeticheskix ustanovkah*, Nauka i tehnologii. - 2018. - T. 10, №2. - p. 45-52. DOI: <https://doi.org/10.23888/jnt.2018.10.2.45>
7. O.I. Shmidt, S.M. D'jakov, *Modeli i metody izmerenij s ispol'zovaniem opticheskix datchikov dlja monitoringa temperatury i deformacij*, Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. - 2019. - №6. - p. 22-27. DOI: <https://doi.org/10.20948/1996-1608-2019-6-22-27>
8. V.S. Mel'nikov, A.I. Gusev, *Osobennosti primeneniya volokonno-opticheskix datchikov v monitoringe temperatury i mehanicheskix naprjazhenij*, Vestnik MGTU im. Baumana. - 2017. - №4. - p. 120-128. DOI: <https://doi.org/10.18698/0104-2516-2017-4-120-128>
9. T.N. Alekseeva, N.M. Solov'ev, *Sovremennye podhody k primeneniju opticheskix datchikov dlja monitoringa deformacii v stroitel'nyh i promyshlennyh ob'ektah*, Izmeritel'naja tehnika. - 2021. - №8. - p. 55-60. DOI: <https://doi.org/10.30747/0235-3522-2021-8-55-60>
10. I.A. Rjabov, V.M. Kuchin, *Issledovanie jeffektivnosti primeneniya opticheskix datchikov dlja kontrolja temperatury i naprjazhenij v infrastrukture*, Sovremennye tehnologii v promyshlennosti. - 2020. - №2. - p. 33-40. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3874135>
11. VI. Kravchenko, D.M. Bogdanov, *Primenenie opticheskix datchikov dlja monitoringa deformacij i temperatury v geotekhnicheskix issledovanijah*, Vestnik geojekologii. - 2019. - №3. - p. 49-56. DOI: <https://doi.org/10.15393/jgeosec.2019.3.49>
12. A.Ju. Lapin, M.S. Chernov, *Razrabotka i primenenie volokonno-opticheskix datchikov dlja izmereniya temperatury i naprjazhenij v metallurgicheskoy promyshlennosti*, Metallurgija i materialy. - 2020. - №7. - p. 87-94. DOI: <https://doi.org/10.21122/metal2019.7.87>
13. VI. Kozlov, I.V. Gromov, *Ispol'zovanie opticheskix datchikov dlja monitoringa temperaturnyh izmenenij i deformacij v stroitel'nyh konstrukcijah*, Nauka i tehnika. - 2018. - T. 12, №1. - p. 102-107. DOI: <https://doi.org/10.12737/2018.12.1.102>
14. A.V. Chernikova, I.P. Gusev, *Primenenie opticheskix datchikov dlja monitoringa temperatury i deformacii v neftehimicheskoy promyshlennosti*, Problemy himii i jekologii. - 2020. - №1. - p. 44-50. DOI: <https://doi.org/10.17816/pce2020-44-50>
15. V.V. Baranov, I.S. Morozova, *Primenenie volokonno-opticheskix datchikov dlja monitoringa deformacij v geotekhnicheskix i stroitel'nyh konstrukcijah*, Geodezija i kartografija. - 2019. - №5. - p. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1177/2074461X1905005>
16. A.Ju. Lapin, M.S. Chernov, *Razrabotka i primenenie volokonno-opticheskix datchikov dlja izmereniya temperatury i naprjazhenij v metallurgicheskoy promyshlennosti*, Metallurgija i materialy. - 2023. - №7. - p. 87-94. DOI: <https://doi.org/10.21122/metal2019.7.87>
17. VI. Kozlov, I.V. Gromov, *Ispol'zovanie opticheskix datchikov dlja monitoringa temperaturnyh izmenenij i deformacij v stroitel'nyh konstrukcijah*, Nauka i tehnika. - 2022. - T. 12, №1. - p. 102-107. DOI: <https://doi.org/10.12737/2018.12.1.102>
18. A.V. Chernikova, I.P. Gusev, *Primenenie opticheskix datchikov dlja monitoringa temperatury i deformacii v neftehimicheskoy promyshlennosti*, Problemy himii i jekologii. - 2023. - №1. - p. 44-50. DOI: <https://doi.org/10.17816/pce2020-44-50>
19. V.V. Baranov, I.S. Morozova, *Primenenie volokonno-opticheskix datchikov dlja monitoringa deformacij v geotekhnicheskix i stroitel'nyh konstrukcijah*, Geodezija i kartografija. - 2024. - №5. - p. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.1177/2074461X1905005>

Авторлар туралы мәліметтер:

А.Қ. Сейтханова – PhD, қауымдастырылған профессоры, Ә.Марғұлан атындағы Павлодар педагогикалық университеті, Павлодар, Қазақстан

С.Ж. Көшкінбаев – хат-хабар авторы, PhD, қауымдастырылған профессоры «Мирас» университеті, Шымкент қ., Қазақстан

Н.Қ. Смайлов – PhD, қауымдастырылған профессоры, Қ.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

М.Ж. Көшкінбаева – PhD, Орталық Азия инновациялық университетінің қауымдастырылған профессоры, Шымкент, Қазақстан

Н.Ж. Дүйсенов – PhD, Орталық Азия инновациялық университетінің қауымдастырылған профессоры, Шымкент, Қазақстан.

А.К. Сейтханова – PhD, ассоциированный профессор, НАО «Павлодарский педагогический университет имени Ә. Марғұлан», г. Павлодар, 140008, Казахстан

С.Ж. Көшкінбаев – автор для корреспонденции, PhD, ассоциированный профессор, Университет Мирас, Шымкент, Казахстан

Н.К. Смайлов – PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный технический университет имени К. Сатпаева, Алматы, Казахстан

М.Ж. Кошкинбаева – к.т.н., ассоциированный профессор, Центрально Азиатский Инновационный Университет, Шымкент, Казахстан

Н.Ж. Дүйсенов – к.т.н., ассоциированный профессор, Центрально Азиатский Инновационный Университет, Шымкент, Казахстан.

А.К. Seitkhanova – PhD, Associate Professor, A.Margulan Pavlodar Pedagogical University, Pavlodar, Kazakhstan

S.Zh. Koshkinbayev – corresponding author, PhD, Associate Professor, Miras University, Shymkent, Kazakhstan

N.K. Smailov – PhD, Associate Professor, K.Satpayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan

M.Zh. Koshkinbaeva – PhD, Associate Professor, Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan

N.Zh. Duysenov – PhD, Associate Professor, Central Asian Innovation University, Shymkent, Kazakhstan.



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).