

Техникалық ғылымдар. Сәулет және құрылыс

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-03>

DOI: 625.8:65011.56

GTAMP: 68.75.35

Асфальтталған жол жабынындағы талшықты-оптикалық датчиктер***¹Оразбаева Д.А., ²Кашаганова Г.Б., ²Сағыбекова А.О.**¹Мұхаметжан Тынышбаев атындағы АЛТ университеті, Алматы қ, Қазақстан²Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан*Автор-корреспондент email: dinara_o.a@mail.ru

Мақала келді:
12 қаңтар 2024
Сараптамадан өтті:
25 ақпан 2024
Қабылданды:
10 наурыз 2024

Түйіндеме

Мақалада жол төсемінің бүкіл құрылымы бойынша көлік жүктемелерін сенімді және тиімді бөлуді қамтамасыз етуге бағытталған заманауи жол төсемін жобалаудың негізгі аспектілері қарастырылған. Жұмыс жағдайлары мен әсер ететін факторларды ескере отырып, жабынды құрайтын материалдардың механикалық қасиеттерін дұрыс бағалаудың маңыздылығына ерекше назар аударылады. Мұндай қасиеттерді орнында анықтаудың нақты әдістерін әзірлеу өте қиын міндет болып табылады, бұл бақылаудың бұзбайтын әдістерін қолдануды қажет етеді. Бұл жұмыста өзін сенімді және жоғары дәлдіктегі мониторинг құралдары ретінде көрсеткен талшықты-оптикалық датчиктерді (суларды) пайдалана отырып, асфальтбетон жабын қабаттарының төменгі бөлігіндегі деформацияларды анықтау тәсілдері қарастырылған. Мақалада осы саладағы заманауи әлемдік әзірлемелер талданады, судың сыртқы әсерлерге төзімділігі, жоғары сезімталдығы және дәлдігін жоғалтпай ұзақ мерзімді пайдалану мүмкіндігі сияқты негізгі техникалық артықшылықтары көрсетілген. Сондай-ақ, ақауларды уақтылы анықтау, техникалық қызмет көрсетуді оңтайландыру және жол құрылымдарының қызмет ету мерзімін ұзарту үшін жаңа мүмкіндіктер ашатын жол инфрақұрылымын мониторингілеудің зияткерлік жүйелерінің құрамына су енгізу перспективалары қарастырылуда. Ұсынылған шолу инновациялық технологияларды көлік саласына біріктірудің маңыздылығын көрсетеді.

Түйін сөздер: асфальт; талшықты-оптикалық датчиктер (су); Брагг торының талшықты датчиктері (ВБР); түсетін салмақтың ауытқуы (МЗЖ), бетон.

Оразбаева Д.А.	Авторлар туралы ақпарат: Техника ғылымдарының магистрі, "Көлік құрылысы және құрылыс материалдарын өндіру" кафедрасының қауымдастырылған профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-3110-3849 , E-mail: dinara_o.a@mail.ru
Кашаганова Г.Б.	Мұхамеджан Тынышбаев атындағы АЛТ университетінің магистранты, Алматы қ., Қазақстан Республикасы. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8150-1621 , E-mail: kashaganova_10@mail.ru
Сағыбекова А.О.	Техника ғылымдарының кандидаты, "Көлік құрылысы және құрылыс материалдарын өндіру" кафедрасының қауымдастырылған профессоры. Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ, Қазақстан, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5679-5816 , e-mail: sao-81@mail.ru

Technical Sciences. Architecture and Construction

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-03>

UDC: 625.8:65011.56

IRSTI: 68.75.35

Fiber-optic sensors on paved roads***¹Orazbayeva D.A., ²Kashaganova G.B., ¹Sagybekova A.O.**¹ Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan²ALT University named after Mukhamedzhan Tynyshpayev, Almaty, Kazakhstan*Corresponding author email: dinara_o.a@mail.ru

Received:
12 January 2024
Peer-reviewed:
25 February 2024
Accepted:
10 March 2024

Abstract

The article discusses the key aspects of modern pavement design, focused on ensuring reliable and efficient distribution of traffic loads throughout the road surface structure. Special attention is paid to the importance of correctly assessing the mechanical properties of the materials that make up the coating, taking into account the operating conditions and influencing factors. It is emphasized that the development of realistic methods for determining such properties on site is an extremely difficult task, which necessitates the use of non-destructive testing methods. In this paper, we consider approaches to determining deformations in the lower part of asphalt-concrete coating layers using fiber-optic sensors (VOD), which have proven themselves to be reliable and highly accurate monitoring tools. The article analyzes modern world developments in this field, shows the main technical advantages of waters, such as resistance to external influences, high sensitivity and the possibility of long-term operation without loss of accuracy. The prospects of introducing water into intelligent monitoring systems for road infrastructure are also being considered, which opens up new opportunities for timely detection of defects, optimization of maintenance and prolongation of the service life of road structures. The presented review highlights the importance of integrating innovative technologies into the transport industry.

Keywords: asphalt; fiber optic sensors (FOS); fiber Bragg grating (FBG) sensors; falling weight deflector (FDW), concrete.

Orazbayeva D.A.**Information about authors:**

*Master of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department "Transport Construction and Production of Building materials", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-3110-3849>
E-mail: dinara_o.a@mail.ru*

Kashaganova G.B.

Master's student of the educational program 7M07159 – "Transport Structures", Department of "Architectural and structural engineering", ALT Mukhamedzhan Tynyshpayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8150-1621>. E-mail: kashaganova_10@mail.ru

Sagybekova A.O.

Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer of the Department "Transport Construction and Production of Building materials", Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5679-5816>. E-mail: sao-81@mail.ru

Технические науки. Архитектура и строительство

<https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-03>

УДК: 625.8:65011.56

МРНТИ: 68.75.35

Волоконно-оптические датчики на асфальтированном дорожном покрытии***¹Оразбаева Д.А., ²Кашаганова Г.Б., ¹Сагыбекова А.О.**¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан²АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева, г. Алматы, Казахстан*Автор-корреспондент email: dinara_o.a@mail.ru

Поступила:

12 января 2024

Рецензирование:

25 февраля 2024

Принята в печать:

10 марта 2025

Аннотация

В статье рассмотрены ключевые аспекты современного проектирования дорожного покрытия, ориентированного на обеспечение надёжного и эффективного распределения транспортных нагрузок по всей структуре дорожной одежды. Особое внимание уделено важности правильной оценки механических свойств материалов, составляющих покрытие, с учётом условий эксплуатации и воздействующих факторов. Подчёркивается, что разработка реалистичных методов определения таких свойств на месте является крайне сложной задачей, что обуславливает необходимость применения неразрушающих методов контроля. В данной работе рассмотрены подходы к определению деформаций в нижней части асфальтобетонных слоёв покрытия с использованием волоконно-оптических датчиков (ВОД), зарекомендовавших себя как надёжные и высокоточные средства мониторинга. В статье проанализированы современные мировые разработки в этой области, показаны основные технические преимущества ВОД, такие как устойчивость к внешним воздействиям, высокая чувствительность и возможность длительной эксплуатации без потери точности. Рассматриваются также перспективы внедрения ВОД в состав интеллектуальных систем мониторинга дорожной инфраструктуры, что открывает новые возможности для своевременного выявления дефектов, оптимизации технического обслуживания и продления срока службы дорожных конструкций. Представленный обзор подчёркивает значимость интеграции инновационных технологий в транспортную отрасль.

Ключевые слова: асфальт; волоконно-оптические датчики (ВОД); волоконные датчики Брэгговской решетки (ВБР); отклонитель падающего веса (ОПВ), бетон.

Оразбаева Д.А.**Информация об авторах:**

Магистр, старший преподаватель кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-3110-3849> E-mail: dinara_o.a@mail.ru

Кашаганова Г.Б.

магистрантка образовательной программы 7M07314 – «Строительство автомобильных дорог и аэродромов», кафедра «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8150-1621> E-mail: kashaganova_10@mail.ru

Сагыбекова А.О.

Кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Транспортное строительство и производство строительных материалов», КазАДИ им. Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Республика Казахстан, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5679-5816> E-mail: sao-81@mail.ru

Кіріспе

Жол төсемін жобалау — қазіргі заманғы адамзат қоғамы үшін маңызды факторлардың бірі болып табылады. Жолдардың сапалы салынуы тек елді мекендерде ғана емес, сонымен қатар ірі мегаполистерде де жол құрылымының барлық деңгейінде көлік жүктемелерін тиімді бөлуді қамтамасыз ету мәселесін шешуге мүмкіндік береді. Жол төсемін жобалаудың негізгі мақсаты — бүкіл пайдалану мерзімі ішінде құрылыс пен күтіп-ұстау шығындарын барынша азайта отырып, көлік жүктемелерін таңдалған жүктеме параметрлері шегінде тиімді бөлетін инженерлік құрылымды қалыптастыру.

Материал сапасы — жол қабаттарын жобалаудағы маңызды аспектілердің бірі болып табылады, әсіресе олар ылғалға ұшыраған жағдайда. Егер қабаттар орналасқан аймақ ылғалмен қаныққан болса, материалдың қаттылығы айтарлықтай төмендейді. Мұндай жағдайда, әдетте құрғақ күйде қабылдай алатын кернеулер қабаттың бұзылуына немесе тұрақсыздығына әкелуі мүмкін.

Тағы бір маңызды әдіс — температураны бақылау, өйткені ол битуммен байланысқан қабаттардың қасиеттеріне тікелей әсер етеді. Сондықтан жол төсемін жобалау барысында климаттық жағдайларды ескеру аса маңызды [1,2]. Сонымен қатар, жол төсемін тығыздау сапасы да құрылымның беріктігі мен ұзақ мерзімділігіне ықпал ететін маңызды фактор болып табылады.

Соңғы 50 жылда жол жамылғысын зерттеу және онымен байланысты жол төсеу технологиялары қарқынды дамыды. Сол кезеңдегі ғылыми білім мен зерттеу жетістіктеріне негізделген теориялар мен принциптер жол жабындарын талдау, жобалау, салу және техникалық қызмет көрсету бойынша мамандарға елеулі көмек көрсетті. Осы ғылыми негіздер кейінгі жылдары жабын технологияларының дамуына кеңінен ықпал етті [3].

Жол төсемінің механикалық күйі мен қызмет ету мерзімін бағалау — жолдардың құрылысы мен техникалық қызмет көрсету сапасын анықтауда маңызды рөл атқарады. Алайда бұл міндетті жүзеге асыру қиын, себебі жол қабатының ішкі құрылымының нақты жұмыс істеуін көзбен елестету мүмкін емес [4]. Қазіргі таңда зерттеушілер әдетте қолданатын бақылау және зерттеу әдістеріне бағаналы бұрғылау, жол жамылғысын кесу, Бенкельман сәулесі, құлаған жүк әдісі, автоматты дефлектометр, беттің қисаюын өлшейтін құрылғылар және басқа да құралдар жатады. Бұл әдістердің көпшілігі не деструктивті, не өлшеу дәлдігі төмен, не бақылау жиілігі жеткіліксіз. Ең бастысы — бұл әдістердің барлығы үзік-үзік әрі қысқа мерзімді болып табылады.

Жол төсемі ұзақ уақыт бойы жүктеме, температура, ылғалдылық және ультракүлгін сәулелену сияқты қоршаған орта факторларының біріктірілген әсерінен біртіндеп нашарлайды. Осыған байланысты, дәстүрлі әдістер арқылы жол төсемінің нақты жағдайда қалай әрекет ететінін толық түсіну мүмкіндігі шектеулі [4]. Шын мәнінде, жол жамылғысын үздіксіз бақылау — өте күрделі процесс, өйткені әр жол учаскесі өзіндік ерекше жағдайға ие. Сонымен қатар, жол төсемінің сипаттамаларын толық бағалау үшін қысқа мерзімді бақылау жеткіліксіз.

Соңғы 50 жыл ішінде түрлі сала мамандарының бірігуінің нәтижесінде бірқатар ірі технологиялық жетістіктерге қол жеткізілді. Бұл үрдіс алдағы уақытта бүкіл әлем бойынша талшықты-оптикалық байланыс, фотоника, биомедицина және нанотехнология салаларындағы соңғы жетістіктермен тығыз байланысты дами түсуі мүмкін. Байланыс пен ақпараттық технологиялар саласында орын алған революциялық өзгерістермен қатар, талшықты және толқындық оптика, сенсорлар мен бейнелеу жүйелері де бұрын-соңды болмаған деңгейде жетілдірілді. Бұл технологиялар бүгінде қолданудың кең ауқымы үшін зор әлеуетке ие болып отыр [5].

Асфальт жабынының деформациясы жоғары болған жағдайда дәл өлшем нәтижелеріне қол жеткізу үшін тікелей өлшеу әдістерін қолдану қажет. Алайда, мұндай өлшемдерді орындауға арналған арнайы аспаптар көп жағдайда қолжетімсіз болып келеді. Сол себепті,

тәжірибеде электрлік жүктеме ұшықтарының қаттылығы аз деп есептеледі, ал асфальт қабатына орнатылған сенсорға берілетін кернеу айтарлықтай төмендейді. Бұл өз кезегінде сенсор көрсеткіштерінің сезімталдығын төмендетеді [6].

Жол төсемін өлшеу үшін қолданылатын датчиктер жол материалдарының гетерогенді құрылымы мен механикалық қасиеттеріне барынша үйлесімді болуы тиіс. Осы талаптарға сай талшықты-оптикалық сенсорлық технологиялар — атап айтқанда, талшықты Брэгг торы (ТБТ) және Фабри-Перо интерферометриясы (ФП) — жол жамылғысының сапасын эксперименттік тұрғыда зерттеуде және оны бақылауда тиімді нәтиже көрсеткен.

Талшықты Брэгг торы (ТБТ) — ұзындығы бірнеше миллиметр болатын оптикалық талшықтың кішкене бөлігі, оның бойына дифракциялық тор ультракүлгін (УК) сәулесі арқылы жазылады. Бұл тордың негізгі қасиеті — құлаған жарық спектрінің тар оптикалық жолағын шағылыстыруы, яғни орталық толқын ұзындығы (Брэгг толқын ұзындығы) маңында орналасқан жарықты кері бағытта шағылыстырады. ТБТ температура мен механикалық деформацияларға өте сезімтал, себебі Брэгг толқын ұзындығы осы факторлардың өзгерісіне пропорционалды түрде өзгеріп отырады. Сенсор өте нәзік құрылымды болғандықтан, оны арнайы қорғау қаптамасына орау қажет.

Талшықты датчик (ТД) — екі жартылай шағылысатын параллель айналардан тұратын оптикалық резонатор. Бұл резонаторда жоғары шағылыстыратын айналар қолданылатындықтан, құрылғы жоғары дәлдікпен ерекшеленеді. Резонатордың шағылысу қасиеті спектрлік селективтілікке ие болып, кедергілерді сүзуге арналған элемент ретінде де қызмет атқарады.

ТБТ және ТД технологиялары деформацияны жергілікті түрде өлшеуді электрлік тензометриялық сенсорлар сияқты қамтамасыз етеді. Бұл сенсорлар жоғары сезімталдық пен дәлдікке ие болғанымен, жарықтар мен кең ауқымды деформацияларды анықтауға жарамсыз. Себебі олардың өлшемдері жол төсемінің өлшемдерімен салыстырғанда өте шағын. Жарықшаларды тек сенсор орналасқан аймаққа жақын жерде ғана анықтауға болады. Мұндай жағдайларда Бриллюен немесе Рэлей шашырауына негізделген талшықты-оптикалық зондтау әдістерін қолдану тиімді [7].

Жол жамылғысын бақылау — оны зерттеудің ажырамас бөлігі және жол төсемі жүйелерінде маңызды рөл атқарады [8]. Асфальт жабынының нақты механикалық қасиеттерін дәл анықтауға арналған тиімді әдіс әзірлеу — күрделі мәселе. Жол төсемін бақылауға арналған түрлі өлшеу құралдары мен датчиктер жасалғанымен, олардың көптеген параметрлерге жоғары сезімталдығы дәстүрлі жүк дефлектометрия балама ретінде нақты уақыттағы деформация деректерін алу мүмкіндігін шектейді [9]. Соңғы онжылдықта оптикалық талшықты датчиктер (ОТД) жол жамылғысын бақылауда белсенді қолданылып келеді. Дегенмен, ОТД-ны асфальт өндіру технологиясында пайдалану шектеулі, себебі сенсорлар жоғары температураға, ылғалдылыққа, тығыздағыштың үлкен қысымына және қайталанатын ауыр жүктемелерге төтеп беруі тиіс. Бұған қоса, ОТД жүйесін орнату көп уақыт пен мұқияттылықты талап етеді. Соған қарамастан, ОТД — нақты көлік жүктемелері кезінде жол төсеміндегі деформацияларды орнында өлшеудің перспективалы және тиімді құралы ретінде танылды. Алайда, жол төсемі қабаттарының есептелген деформациялары (жүк дефлектометр деректеріне негізделген) мен ОТД арқылы тіркелген нақты кернеу өлшемдері арасында айырмашылықтар байқалғандықтан, қосымша эксперименттік зерттеулер қажет болды.

Әдістер

Зерттеу жұмысында талшықты-оптикалық датчиктерді асфальт жабындарында қолдандудың эксперименттік әдістері сипатталған. Бұл әдіс негізінен екі негізгі кезеңнен тұрады: жол төсеміне ОТД орнату және алынған мәліметтерді талдау.

1. Талшықты-оптикалық датчиктердің орнатылуы:

Талшықты-оптикалық датчиктер асфальтбетон қабаттарының төменгі және жоғарғы бөліктеріне орнатылды. Орнату кезінде әрбір датчик екі параллельді оптикалық талшықтан құралған және олар арқылы өтетін жарық сигналдарының интерференциясы өлшенді. Бұл сенсорлар жүктеме әсерінен пайда болатын деформацияларды анықтауға мүмкіндік береді.

2. Далалық сынақтар және өлшеулер:

Далалық сынақтар Лаваль университеті мен IFSTTAR зертханаларында жүргізілді. Сынақтар барысында әртүрлі температура мен жүктеме параметрлері әсерінен асфальт қабаттарындағы созылу кернеулері мен деформациялар өлшенді. Алынған деректер талшықты-оптикалық сенсорлар мен салмақ дефлектометрдің нәтижелеріне негізделген модельдер арқылы өңделді.

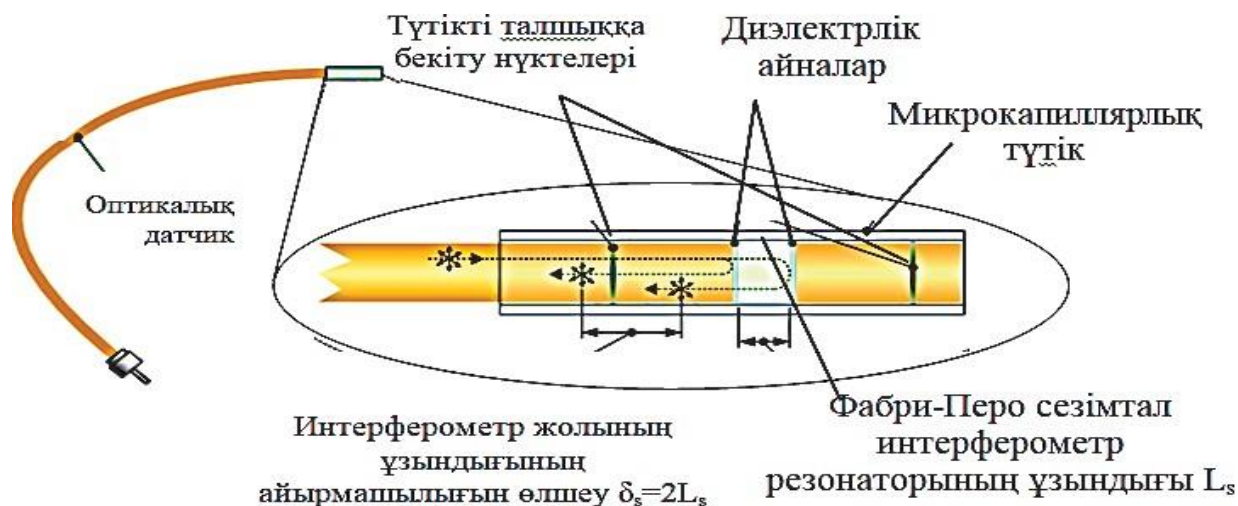
3. Модельдеу:

Модельдеудің кері тәсілі қолданылды, бұл әдіс арқылы салмақ дефлектометрі мен ОТД нәтижелері арасындағы сәйкестіктер тексерілді. Осы модель арқылы әртүрлі жүктемелер мен температуралардың асфальт қабаттарына әсері зерттелді.

Бұл шолу бөлімінде ТСА (тұрақты салмақ астындағы) стандартталған әдістемесі және оның баламасы ретінде асфальтбетон жабынында оптикалық талшықты датчиктерді (ОТД) қолдану тәжірибелері сипатталады. Атап айтқанда, асфальт қабатының төменгі жағындағы созылу деформацияларын анықтауға бағытталған әдістер қарастырылады.

Төменде асфальтбетон жабындарында ОТД қолданудың бірнеше нақты жағдайлары егжей-тегжейлі талданады.

Зерттеліп отырған сенсор микрокапиллярлық түтікке дәл орналастырылған екі оптикалық талшықтан тұрады және олар Фабри-Перо (ФП) интерферометріне сезімтал оптикалық интерферометрді құрайды. Мұндай тензометриялық сенсор электромагниттік кедергілерге мүлдем сезімтал емес. Сонымен қатар, Брэгг торына негізделген оптикалық талшықты сенсорлардан ерекшелігі — бұл сенсор көлденең деформациялар мен температура әсеріне дерлік жауап бермейді.



Сурет 1. Фабри – Перо интерферометріне негізделген жүктеме ұяшығы (ФП) [10]

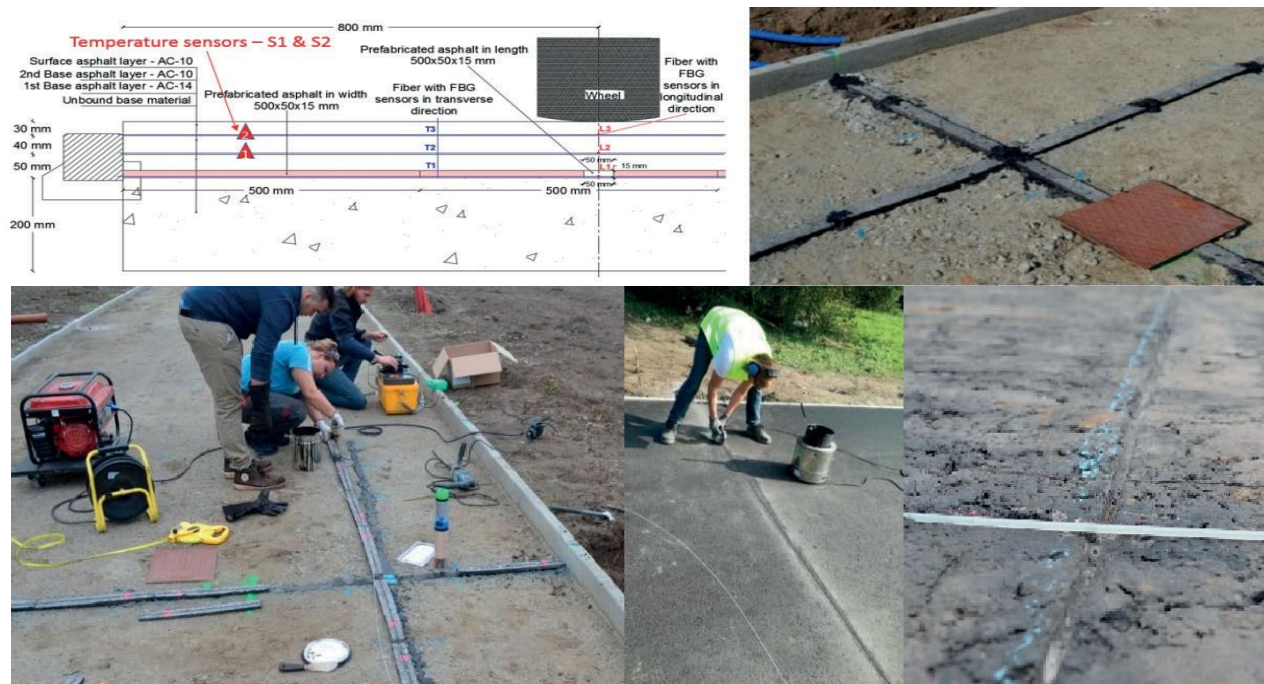
Келесі суретте (Сурет 2) әрбір сынақ бөлімі қозғалыс бағытына перпендикуляр орналасқан бір бақылау тақтасымен жабдықталғаны көрсетілген [13]. Әр тақта полифениленсульфидтен (ПФС) жасалған, оның ішіне 24 талшықты-оптикалық жүктеме ұяшығы орнатылған. Бұл сенсорлар тікбұрышты жұқа корпусқа орналасып, эпоксидті шайырмен бекітілген.



Сурет 2. Атлантик-Ситидегі, Нью-Джерсидегі, АҚШ-тағы Федералды авиация әкімшілігінің (FAA) (NAPTF) Ұлттық әуежайының сынақ полигонында бақылау тақтасын орнату [13]

Талшықты-оптикалық тензометриялық датчиктердің жұмыс принципі ақ жарықтың поляризациялық интерферометрия технологиясына (ИФТ) негізделген. ИФТ әдісі екі диэлектрлік айнамен шектелген резонаторы бар Фабри-Перо интерферометріндегі (ФП) оптикалық жол ұзындығының айырмасын анықтау үшін сигнал пішіндегіш құрылғыны қолданады [15].

Дұрыс калибрлеу жағдайында оптикалық жол ұзындығының айырмашылығы орын ауыстыру, кернеу және деформация сияқты техникалық параметрлерге тәуелді болуы мүмкін. Бір пластинадағы 24 сенсордан деректерді жинау үшін 8 арнадан тұратын үш сигнал пішіндегіш (сигнал процессоры) қолданылды. Бұл құрылғы жарық сигналын жібереді және қабылдайды, ал арнайы бағдарламалық жасақтама қабылданған сигналдарды физикалық шамаларға түрлендіреді және түсіндіреді. Түрлендірілген деректер 500 Гц жиілікте мәтіндік файл ретінде сақталады. Асфальт қабаттарындағы көлденең және бойлық бағытта орналастырылған оптикалық талшықты Брэгг торлары (ОТБ) үш түрлі қабаттың төменгі жағына орнатылған. Сенсорлардың бұл конфигурациясы 3-суретте көрсетілген.



Сурет 3. ОТБ бақылау жүйесінің сенсорлық конфигурациясы асфальттың үш қабатында, датчикті велосипед жолындағы алдын ала дайындалған үлгілер мен ойықтарға салынған [8-9]

Асфальт төсемесінің барлық үш қабатына орнатылған ОТБ датчиктері жол төсемін салу процесі кезінде толық сақталды. Бұл жол төсемі ішінде сенсорлардың нақты қалай жұмыс істейтінін бақылауға мүмкіндік берді [8–9]. Талшықтың шығу нүктелері жол жабынының бүйір жағынан сыртқа шығарылуы үшін орналастырылды. Сенсор жүйесі екі жақтағы сымдардың керілуін өлшеуге мүмкіндік беретін брондау арқылы қорғалған.

ОТБ жүйесінің мониторингі жол төсемі төселген сәттен бастап тұрақты түрде жүргізіліп келеді. Барлық сезімтал талшықтар ғимарат ішінен үздіксіз бақылау жүргізу үшін магистральдық бірмодалы көп талшықты кабельге (КТК) қосылған. Бұл конфигурация ОТБ жүйесін жол төсемін ұзақ мерзімді бақылау құралы ретінде пайдалануға мүмкіндік береді және оны, мысалы, құрылыс кезінде жоғары жүктеме түсетін жол учаскелерінде қолдануға болады.

Грелле және басқа зерттеушілердің мақсаты [12], Лаваль университеті (Квебек, Канада) мен IFSTTAR (Нант, Франция) арасындағы бірлескен жоба аясында асфальт төсеміндегі крекингтің екі түрін түсіну және болжау болды. Бұл мақсатқа жету үшін тұтқыр серпімді қасиеттерді асфальт төсеу моделіне біріктіру қажеттілігі туындады. Қазіргі таңда асфальт қабатындағы жарықтардың пайда болу механизмдері екі негізгі типке бөлінеді:

Асфальт қабатының төменгі жағында басталып, бетіне қарай таралатын жарықтар (жарықтар төменнен жоғары).

Жол төсемінің бетіне жақын жерден басталып, байланысқан қабаттар арқылы төменге қарай таралатын жарықтар (жарықтар жоғарыдан төменге).

Далалық сынақтар IFSTTAR-дың жеделдетілген жол жамылғысы сынақ полигонында және Лаваль университетінің жол эксперименттік полигонында, Серулда жүргізілді. Бұл зерттеулердің нәтижелері талшықты-оптикалық датчиктер қабаттар ішінде пайда болатын деформацияларды сипаттап, жүктеме конфигурацияларының әсерін бағалауға мүмкіндік беретініне куә болды [11].

Грелле және басқа зерттеушілердің жұмысы [12] асфальт қабаттарының механикалық әрекетін және олардың интерфейсін тұтқыр серпімді қасиеттерді қолдана отырып модельдеуге қол жеткізуге мүмкіндік береді деген қорытындыға келді. Тұтқыр серпімді қабаты бар жабысқақ жабынды модельдеу кернеулер мен деформациялардың қабаттар бойынша таралуын өзгертеді, сондай-ақ жол жабынының пайдалану сипаттамаларын болжаудағы тәсілді жаңартуға ықпал етеді. Созылу кернеулері жер бетіне жақын жерде пайда болып, жоғарыдан төменге қарай сызаттардың пайда болуына әкелуі мүмкін. Тұтқыр серпімді интерфейстің интеграциясы кернеулердің қабаттар бойынша қайта таралуына әсер етеді. Нәтижесінде, созылу кернеулері бетке жақын және интерфейске жақын аймақтарда ұлғаяды, ал қабаттардың төменгі бөліктерінде олар азаяды. Алайда, интерфейсті ескергенде, кернеулердің деңгейі жоғары болып қалады.

Жоғары созылу деформациялары (250 мк-ден жоғары) жүктеме түсірілгеннен кейін, деформациялардың баяу нөлге оралуы жоғары температурада (30°C) жұқа жол төсемінің битум құрылымының төменгі қабатында өлшенген.

Тозатын қабаттың төменгі бөлігінде жоғары температурада байқалатын жоғары созылу кернеулері, төменгі қабаттардың интерфейсі толық байланысқан деп санауға болмайтынын және тозған қабат пен негізгі қабат арасында осы созылу кернеулерін тудыратын кейбір сырғулар болатынын көрсетеді. Басқаша айтқанда, бұл интерфейстің адгезия дәрежесінің температураға байланысты өзгеретінін білдіреді.

Бұл өзгерістер битум эмульсиясының интерфейсте адгезияның сапасына байланысты болуы мүмкін; жоғары температурада бұл эмульсия төмен қаттылыққа ие болады, нәтижесінде интерфейстің жылжу төзімділігі төмендейді [14]. Осыған орай, ең маңызды жағдайларды анықтау үшін бірнеше температура мен жүктеме параметрлерін бағалау қажет.

Температураның жоғарылауы битум қабаттарының төменгі бөлігінде созылу кернеулерін арттырады, бұл стандартты құрылымдық есептеулерден гөрі жоғары деформация-

ларға әкелуі мүмкін. Қосылған қабаттардың осындай әсері нәтижесінде шаршау зақымдануы болжанғаннан да жоғары болуы мүмкін.

Нәтижелер

1. Деформациялар мен кернеулердің таралуы:

Өлшеулердің нәтижелері асфальт қабаттарында температураның жоғарылауы кезінде кернеулер мен деформациялардың таралуын көрсетті. Тұтқыр серпімді қасиеттері бар асфальтбетон жабындары жоғары температурада төменгі қабаттарында жарықшақтардың пайда болуына әкелетін созылу кернеулерін көрсетті.

2. ОТД сенсорларының тиімділігі:

Талшықты-оптикалық датчиктердің көмегімен нақты уақыт режимінде деформациялар мен кернеулер өлшеніп, олардың жол төсемінде таралуы туралы толық ақпарат алынды. Бұл сенсорлар ұзақ мерзімді бақылау үшін тиімді құрал болып табылды және құрылымның бұзылуы немесе ақаулары туралы ерте ескерту береді.

3. Тұтқыр серпімді қабаттар:

Тұтқыр серпімді қабаттардың жоғары температурада төзімділік қасиеттері төмендегені анықталды. Бұл қабаттар арасында сызаттардың пайда болуына әкелетін сырғулар байқалды, бұл қабаттардың толық бекітілген деп қарастырылуын қиындатты.

4. Деформациялардың жиілігі:

Жоғары температурада асфальт қабаттарындағы деформациялар баяу нөлге оралуы байқалды, бұл битум құрылымының төменгі қабатындағы тозу процестерін көрсетеді.

Талқылау

Зерттеу нәтижелері асфальт жабынын бақылаудың жаңа тәсілдерін ұсынды, оның ішінде талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану тиімді екені анықталды. Бұл датчиктер жоғары сезімталдыққа ие, олар асфальт қабаттарындағы деформацияларды және кернеулерді нақты уақыт режимінде өлшеуге мүмкіндік береді. Осылайша, жол жамылғысының жағдайын бақылаудың тиімділігін арттырады.

1. Температура мен жүктеменің әсері:

Зерттеулер көрсеткендей, жоғары температура асфальт қабаттарындағы деформациялардың деңгейін арттырады. Бұл температураның әсері жол төсемінің беріктігіне айтарлықтай ықпал етеді. Әсіресе, жоғары температурада сызаттардың пайда болуы мен беткі қабаттардың жүктемелерге төзімділігінің төмендеуі анықталды.

2. ОТД қолданудың мүмкіндіктері мен шектеулері:

ОТД қолдану, әсіресе ұзақ мерзімді мониторинг кезінде, өте тиімді болып табылады. Бірақ бұл әдістің кейбір шектеулері де бар: жоғары температура мен ылғалдылық жағдайлары датчиктердің дәлдігіне әсер етуі мүмкін. Бұл шектеулерді ескере отырып, сенсорлардың жұмыс істеуін максимизациялау үшін белгілі бір қорғау әдістері мен жүйелерін енгізу қажет.

3. Болашақ зерттеулер:

Алынған деректерге негізделген модельдер мен мониторинг жүйелері асфальт жабынын жобалаудағы және жол құрылысында пайдалану үшін пайдалы құрал бола алады. Болашақ зерттеулер асфальт қабаттарының әртүрлі температура және жүктеме жағдайларындағы мінез-құлқын толық түсінуге бағытталуы тиіс. Сонымен қатар, сенсорлардың сезімталдығын жақсарту және олардың жұмысына әсер ететін сыртқы факторларды зерттеу қажет.

Қорытынды

Мақалада соңғы онжылдықта асфальт жабындарында талшықты-оптикалық датчиктерді қолдану арқылы жүргізілген эксперименттік өлшеулердің маңызды нәтижелері

қарастырылды. Кейбір негізгі тұжырымдарды келесідей қорытындылауға болады:

1. Жол жабынына талшықты-оптикалық датчиктерді орнату ақпаратты негізінде қолжетімді әрі тиімді әдіс болып табылады.

2. ОТД орнату бірнеше зерттеулердің техникалық деректерін ұсынды, бұл датчиктерді ұзақ мерзімді жол төсемінде бақылау мүмкіндігін көрсетті.

3. Бұл тәсіл тек жол жабынын бақылап қана қоймай, сонымен қатар эксперименттік өлшеулерді де қамтиды.

4. Салмақ дефлектометр және талшықты-оптикалық датчиктердің нәтижелері негізінде модельдеудің кері тәсілін тексеру үшін бірнеше ұсынылған шешімдер берілді.

ОТД асфальтобетон жабынында қолдану нәтижелері:

1. Асфальтбетон қабаттарының төменгі жағында нақты көлік жүктемесі кезінде орнында деформацияларды өлшеу үшін ОТД пайдалы әрі перспективалы құрал болып табылады.

2. Жол жабынының құрылымын бөлудің шекараларын анықтау кезінде, әсіресе жоғары температурада, қабаттардың толық бекітілген деп қарастырылуы мүмкін емес.

Мүдделер қақтығысы. Корреспондент автор мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Осы мақалаға сілтеме: Оразбаева ДА, Кашаганова ГБ, Сағыбекова АО. Асфальтталған жол жабынындағы талшықты-оптикалық датчиктер. Вестник Казахского автомобильно-дорожного института = Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2024; 1(5), 29-40. <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-03>

Cite this article as: Orazbayeva D.A., Kashaganova G.B., Sagybekova A.O. Asfal'talğan zhol zhabynyndagy talshyqty-optikalıyq datchikter [Fiber optic sensors on paved road surface]. Vestnik Kazhaskogo avtomobil'no-dorozhnogoinstituta= Bulletin of Kazakh Automobile and Road Institute = Kazakh avtomobil-zhol institutynyn Khabarshysy. 2024; 1(5),29-40. (In Rus.). <https://doi.org/10.63377/3005-4966.1-2024-03>

Литература

- [1] Read J, Whiteoak D, Hunter RN. The Shell Bitumen Handbook. London. Thomas Telford. 2003, 463.
- [2] Van Gurp CAPM. Characterization of Seasonal Influences on Asphalt Pavements with the Use of Falling Weight Deflectometers. Ph.D. Thesis, TU Delft, Delft, The Netherland, 1995. Available online: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:596d5b28-308d-4c74-a3b8-cad632a93619?collection=research> (accessed on 12 May 2019).
- [3] Sun L. Structural Behavior of Asphalt Pavements. Oxford. Butterworth-Heinemann; 2016.
- [4] Dong Z, Li S, Wen J, Chen H. Asphalt pavement structural health monitoring utilizing FBG sensors. Advanced Engineering Forum. Trans Tech Publications Ltd. 2012; 5:339-344. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.5.339>
- [5] Bock WJ, Gannot I, Tanev S. Optical Waveguide Sensing and Imaging, NATO Science for Peace and Security Series-B: Physics and Biophysics; Springer: Dordrecht, The Netherlands; 2008.
- [6] Imai M, Igarashi Y, Shibata M, Miura S. Experimental study on strain and deformation monitoring of asphalt structures using embedded fiber optic sensor. J. Civ. Struct. Health Monit. 2014; 4:209-220. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0077-4>
- [7] Chapeleau X, Blanc J, Hornych P, Gautier J-L, Carroget J. Assessment of cracks detection in pavement by a distributed fiber optic sensing technology. J. Civ. Struct. Health Monit. 2017; 7:459-470. <https://doi.org/10.1007/s13349-017-0236-5>
- [8] Kara De Maeijer P, Van den bergh W, Vuye C. Case study on the technique of installation of fiber Bragg gratings sensors in three asphalt layers. In Proceedings of the 13th ISAP Conference on Asphalt Pavements, 19–21 June; Fortaleza, Brazil. 2018, 1-7.
- [9] Kara De Maeijer P, Van den bergh W, Vuye C, Vanlanduit S, Braspeninckx J, Stevens N, Voet E, Luyckx G, De Wolf J. Inverse modelling approach-fiber Bragg grating (FBG) meas-

- urements in comparison to falling weight deflectometer (FWD) measurements: Review. Proceedings of the 7th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, 12–14 June; Thessaloniki, Greece. 2019, 211.
- [10] OpSens Solutions White-Light Polarization Interferometry Technology. Available online: <https://opsens-solutions.com/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/IMP0002-WLPI-REV2.5.pdf> (accessed on 17 June 2019).
- [11] Grellet D, Dore G, Bilodeau JP, Gauliard T. Wide-base single-tire and dual-tire assemblies: Comparison based on experimental pavement response and predicted damage. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board. 2013; 2369(1):47-56. <https://doi.org/10.3141/2369-06>
- [12] Grellet D, Dore G, Chupin O, Piau J-M. Experimental evidence of the viscoelastic behavior of interfaces in bituminous pavements - An explanation to top-down cracking? In 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements, 7-9 June; Dordrecht, The Netherlands. 2016, 575–580.
- [13] Garg N, Bilodeau J-P, Dore G. Experimental study of asphalt concrete strain distribution in flexible pavements at the national airport pavement test facility. Proceedings of the 2014 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference, 5–7 August; Galloway, NJ, USA. 2014, 14.
- [14] Prismsusz P, Peterfalvi J, Marko G, Toth C. Effect of pavement stiffness on the shape of deflection bowl. Acta Silv. Lign. Hung. 2015; 11:39-54. doi: 10.1515/aslh-2015-0003
- [15] Dore G, Duplain G, Pierre P. Monitoring mechanical response of in service pavements using retrofitted fibre optic sensors. Proc of the Intern. Conf. on the Advanced Charact. of Pavement and Soil Eng. Materials, 20–22 June; Athens, Greece. 2007, 883-891.
- [16] Калижанова АУ, Кашаганова ГБ, Козбакова АХ, Едилхан Д, Амиргалиева ЖЕ. Анализ и исследование существующего опыта проектирования и использования различных современных волоконно-оптических датчиков для контроля состояния механических и строительных конструкций. Вестник КазАТК. 2021; 118(3):112-123.

References

- [1] Read J, Whiteoak D, Hunter RN. The Shell Bitumen Handbook. London. Thomas Telford; 2003.
- [2] Van Gurp CAPM. Characterization of Seasonal Influences on Asphalt Pavements with the Use of Falling Weight Deflectometers. Ph.D. Thesis, TU Delft, Delft, The Netherlands, 1995. Available online: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:596d5b28-308d-4c74-a3b8-cad632a93619?collection=research> (accessed on 12 May 2019).
- [3] Sun L. Structural Behavior of Asphalt Pavements. Oxford. Butterworth-Heinemann; 2016.
- [4] Dong Z, Li S, Wen J, Chen H. Asphalt pavement structural health monitoring utilizing FBG sensors. Advanced Engineering Forum. Trans Tech Publications Ltd. 2012; 5:339-344. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.5.339>
- [5] Bock WJ, Gannot I, Tanev S. Optical Waveguide Sensing and Imaging, NATO Science for Peace and Security Series-B: Physics and Biophysics; Springer: Dordrecht, The Netherlands; 2008.
- [6] Imai M, Igarashi Y, Shibata M, Miura S. Experimental study on strain and deformation monitoring of asphalt structures using embedded fiber optic sensor. J. Civ. Struct. Health Monit. 2014; 4:209-220. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0077-4>
- [7] Chapeleau X, Blanc J, Horny P, Gautier J-L, Carroget J. Assessment of cracks detection in pavement by a distributed fiber optic sensing technology. J. Civ. Struct. Health Monit. 2017; 7:459-470. <https://doi.org/10.1007/s13349-017-0236-5>

- [8] Kara De Maeijer P, Van den bergh W, Vuye C. Case study on the technique of installation of fiber Bragg gratings sensors in three asphalt layers. Proceedings of the 13th ISAP Conference on Asphalt Pavements, 19–21 June; Fortaleza, Brazil. 2018, 1-7.
- [9] Kara De Maeijer P, Van den bergh W, Vuye C, Vanlanduit S, Braspenninckx J, Stevens N, Voet E, Luyckx G, De Wolf J. Inverse modelling approach-fiber Bragg grating (FBG) measurements in comparison to falling weight deflectometer (FWD) measurements: Review. Proceedings of the 7th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements 12–14 June; Thessaloniki, Greece. 2019, 211.
- [10] OpSens Solutions White-Light Polarization Interferometry Technology. Available online: <https://opsens-solutions.com/wp-content/uploads/sites/4/2015/04/IMP0002-WLPI-REV2.5.pdf> (accessed on 17 June 2019). (in Eng.).
- [11] Grellet D, Dore G, Bilodeau JP, Gauliard T. Wide-base single-tire and dual-tire assemblies: Comparison based on experimental pavement response and predicted damage. Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board. 2013; 2369(1):47-56. <https://doi.org/10.3141/2369-06>
- [12] Grellet D, Dore G, Chupin O, Piau J-M. Experimental evidence of the viscoelastic behavior of interfaces in bituminous pavements - An explanation to top-down cracking? In 8th RILEM International Conference on Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements, 7-9 June; Dordrecht, The Netherlands. 2016, 575–580.
- [13] Garg N, Bilodeau J-P, Dore G. Experimental study of asphalt concrete strain distribution in flexible pavements at the national airport pavement test facility. Proceedings of the 2014 FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conferenc, 7-9 June; Dordrecht, The Netherlands. 2016, 575–580.
- [14] Prismusz P, Peterfalvi J, Marko G, Toth C. Effect of pavement stiffness on the shape of deflection bowl. Acta Silv. Lign. Hung. 2015; 11:39-54. doi: 10.1515/aslh-2015-0003
- [15] Dore G, Duplain G, Pierre P. Monitoring mechanical response of in service pavements using retrofitted fibre optic sensors. Proc of the Intern. Conf. on the Advanced Charact. of Pavement and Soil Eng. Materials, 20–22 June; Athens, Greece. 2007, 883-891.
- [16] Kalizhanova AU, Kashaganova GB, Kozbakova AH, Edilhan D, Amirgalieva ZhE. Analiz i issledovanie sushchestvuyushchego opyta proektirovaniya i ispol'zovaniya razlichnyh sovremennyh volokonno-opticheskikh datchikov dlya kontrolya sostoyaniya mekhanicheskikh i stroitel'nykh konstrukcij [Analysis and research of existing experience in the design and use of various modern fiber-optic sensors for monitoring the condition of mechanical and building structures]. Vestnik KazATK = Bulletin of KazATK. 2021; 118(3):112-123. (in Russ.) <https://doi.org/10.52167/1609-1817-2021-118-3-112-123>