



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

ГЕОДЕЗИЯ. КАРТОГРАФИЯ
ГЕОДЕЗИЯ. КАРТОГРАФИЯ
GEODESY. CARTOGRAPHY

DOI 10.51885/1561-4212_2024_3_74
MFTAA 36.01

Г.С. Құсайынова¹, Е.Н. Хмырова², А.К. Сатбергенова², М.Б. Игемберлина², Ә.С. Тұяқбай³

¹«Геоинфо» ЖШС, Қарағанды қ., Қазақстан

*E-mail: gulzat.kusaiynova@mail.ru**

²«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды Техникалық Университеті» КЕАҚ,
Қарағанды қ., Қазақстан

E-mail: hmyrovae@mail.ru

E-mail: A.satbergenova2@gmail.com

E-mail: igemberlina@mail.ru

³Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,
Астана қ., Қазақстан

E-mail: assem_jan@mail.ru

МҰНАРА ҚҰРЫЛЫСТАРЫН САЛУДЫ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ГЕОДЕЗИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ

АНАЛИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БАШЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

ANALYSIS OF GEODETIC METHODS FOR ENSURING THE CONSTRUCTION OF TOWER STRUCTURES

Аңдатпа. Мақалада мұнара түріндегі өнеркәсіптік құрылымдар, олардың әртүрлі қолданылуы және осы құрылымдарды түсіру және бақылау үшін озық геодезиялық әдістерді, атап айтқанда Lidar және InSAR технологияларын пайдалану қарастырылады. Ол әуе, жер және мобильді лазерлік сканерлеу сияқты әртүрлі формаларын егжей-тегжейлі сипаттай отырып, Lidar технологиясының принциптері мен қолданылуына жан-жақты шолу жасайды. Талқылау барысында Lidar жан-жақтылығына, дәлдігі мен тиімділігіне баса назар аударылады, оның 3D модельдерін құрудағы, құрылымдық өзгерістерді бақылаудағы және техникалық қызмет көрсету мен басқару саласында негізделген шешімдер қабылдауға ықпал етудегі рөлі атап өтіледі.

Мақаланың мақсаты – мұнара құрылымдарының ауытқуларын, деформацияларын және орамдарын анықтау үшін қолданылатын заманауи әдістерді жан-жақты зерттеу және талдау.

Lidar және InSAR технологияларына баса назар аудара отырып, геодезиялық әдістерді зерттеу мұнара түріндегі өнеркәсіптік құрылымдарды түсіну мен бағалауды жақсарту үшін өте маңызды. Бұл технологияларды практикалық қолдану олардың бейімделуімен, нақты уақыттағы жұмыс қабілеттілігімен және экономикалық тиімділігімен бірге оларды құрылымның қауіпсіздігін, беріктігі мен тұрақтылығын қамтамасыз етудің маңызды құралдары ретінде орналастырады.

Автор иллюстрациялар мен схемаларды қолдана отырып, мұнара құрылымдарының орамдарын анықтауда әдістерді мұқият талдауды ұсынады. Мақала ауытқуларды есептеудің әдістемелік тәсілін ұсына отырып, мұнара құрылымдарының айналуымен байланысты проблемаларды жеңу туралы құнды ақпаратты ұсынады.

Қарастырылған әдістер инженерлер мен құрылыс мамандарына мұнара конструкцияларындағы ауытқуларды бағалаудың және азайтудың нақты әдістерін ұсынады. Теориялық маңыздылығы құрылымдар мен құрылысты жобалау саласын кеңейтуге ықпал ететін геодезиялық бақылау әдістерін жетілдіруде жатыр.

Түйін сөздер: Геодезиялық әдістер, мұнара түріндегі құрылыстар, орамды өлішеу.

Аннотация. В статье рассматриваются промышленные сооружения башенного типа, их разнообразные области применения и использование передовых геодезических методов, в частности технологий Lidar и InSAR, для съемки и мониторинга этих сооружений. В нем представлен всесторонний обзор принципов и применений Lidarной технологии с подробным описанием ее различных форм, таких как воздушное, наземное и мобильное лазерное сканирование. В ходе обсуждения подчеркивается универсальность, точность и эффективность Lidara, подчеркивается его роль в создании 3D-моделей, мониторинге структурных изменений и содействии принятию обоснованных решений в области технического обслуживания и управления.

Целью статьи является всестороннее изучение и анализ современных методов, используемых для определения отклонений, деформаций и крена башенных сооружений.

Исследование геодезических методов с акцентом на технологии Lidar и InSAR крайне важно для улучшения понимания и оценки промышленных сооружений башенного типа. Практическое применение этих технологий в сочетании с их адаптивностью, возможностями работы в режиме реального времени и экономической эффективностью позиционируют их как важнейшие инструменты обеспечения безопасности, долговечности и устойчивости сооружения.

Автор представляет тщательный анализ методов при определении крена башенных конструкций с использованием иллюстраций и схем. Статья предлагает ценную информацию о преодолении проблем, связанных с креном башенных сооружений, предоставляя методический подход для расчета отклонений.

Рассмотренные методы предлагают инженерам и специалистам в области строительства точные методы оценки и уменьшения отклонений в конструкциях башен. Теоретическая значимость заключается в совершенствовании методов геодезического контроля, способствующих расширению области проектирования конструкций и строительства.

Ключевые слова: Геодезические методы, сооружения башенного типа, измерение крена.

Abstract. The article discusses industrial tower-type structures, their diverse applications and the use of advanced geodetic methods, in particular Lidar and InSAR technologies, for surveying and monitoring these structures. It provides a comprehensive overview of the principles and applications of lidar technology with a detailed description of its various forms, such as aerial, ground and mobile laser scanning. During the discussion, the versatility, accuracy and effectiveness of lidar are emphasized, its role in creating 3D models, monitoring structural changes and facilitating informed decisions in the field of maintenance and management is emphasized.

The purpose of the article is a comprehensive study and analysis of modern methods used to determine deviations, deformations and roll of tower structures.

The study of geodetic methods with an emphasis on Lidar and InSAR technologies is extremely important for improving the understanding and evaluation of industrial tower-type structures. The practical application of these technologies, combined with their adaptability, real-time operation capabilities and economic efficiency, position them as the most important tools for ensuring the safety, durability and stability of a structure.

The author presents a thorough analysis of methods for determining the roll of tower structures using illustrations and diagrams. The article offers valuable information on overcoming the problems associated with the roll of tower structures, providing a methodological approach for calculating deviations.

The considered methods offer engineers and specialists in the field of construction accurate methods for assessing and reducing deviations in tower structures. The theoretical significance lies in the improvement of methods of geodetic control, contributing to the expansion of the field of design and construction.

Keywords: Geodesy, construction, tower-type structures, roll measurement

Кіріспе. Мақалада геодезиялық әдістердің, атап айтқанда InSAR және Lidar технологияларының негізгі ролі қарастырылады. Сондай-ақ мақалада қарастырылып отырған геодезиялық бақылау әдістеріне мұнара түріндегі құрылымдардағы көлбеу және орам сияқты ауытқуларды анықтауға ерекше назар аудара отырып, талдау жұмыстары жүргізіледі. Бұл құрылымдарды салуға және күтіп ұстауға байланысты қиындықтар, әсіресе олардың вертикалдылығы тұрғысынан, құрылымның дәлдігі мен тұтастығын қамтамасыз ету үшін озық геодезиялық әдістерді қажет етеді.

Өнеркәсіп мұнара типті құрылымдардың белгілі бір мақсаттар үшін әртүрлі салаларда қолданылатын биік, жиі тік құрылымдарға жатады. Мұнара құрылымдары энергетика және көлік объектілеріне байланысты, өнеркәсіптік, химиялық, ауылшаруашылық, тау-кен және басқа кәсіпорындарда мемориалдық және көрме нысандары ретінде

қолданылады (Pimshina, 2023). Мұнара типті өнеркәсіптік құрылымдардың кейбір кең таралған түрлері: (<http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part 97-297.php>, 2024)

1. Байланыс мұнаралары.
2. Электр желілерінің тіректері.
3. Салқындату мұнаралары.
4. Су мұнаралары.
5. Бақылау мұнаралары.
6. Мұржалар.

Мұнара түріндегі нысандар, соның ішінде түтін құбырлары, бағандар, мұнаралар, Радиотелевизиялық антенна тіректері ең жауапты инженерлік құрылымдардың бірі болып табылады (Корецкий, 2022).

Өнеркәсіптік мұржалар әдетте 3-5 жыл сайын жоспарлы және жоспардан тыс тексерулерден өтеді. Алайда, мұндай жиілік әртүрлі зақымданулар мен зиянды факторларды уақтылы анықтау үшін әрдайым жеткіліксіз болуы мүмкін. Бұл мәселені шешу нақты уақыт режимінде құрылымның техникалық жағдайы туралы ақпарат алуға мүмкіндік беретін мониторинг жүйесі мен мамандандырылған датчиктерді енгізуді қамтиды. Мұндай бақылау шешімінің жарқын мысалы ретінде бірқатар сенсорлармен және қосымша жабдықтармен өзара әрекеттесетін Sodis Building бағдарламалық платформасы қолданылады. Ақпаратты жинау әдістерінде нақты датчиктер таңдалып, бақылау схемасына және бақыланатын параметрлерге байланысты қолданылады (1-сурет).

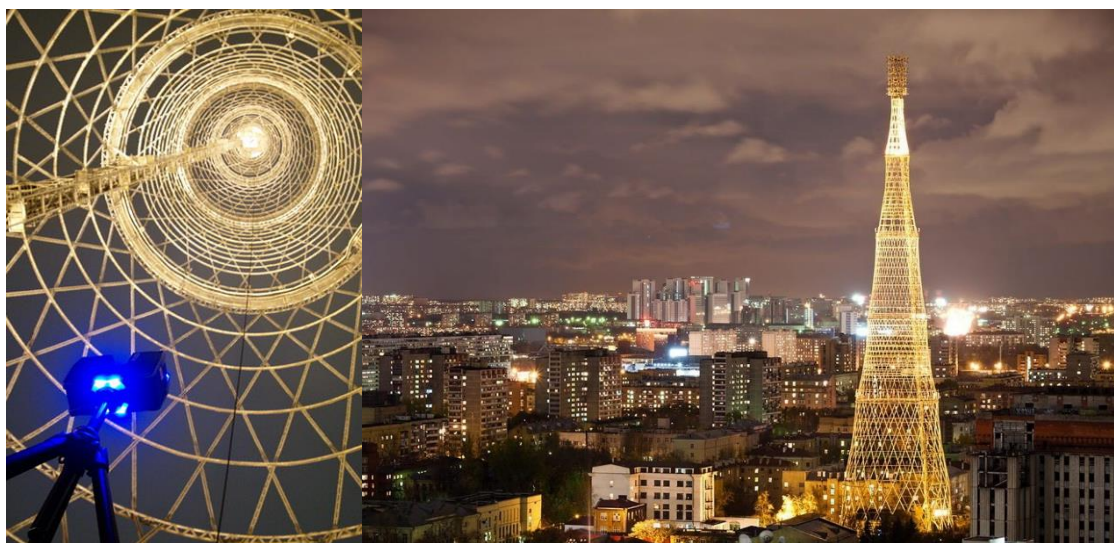


1-сурет. Сканер станцияларының орналасу схемасы

Ескерту – автормен құрастырылған

Жер бетін өлшеу мен талдауды қамтитын геодезиялық әдістер мұнаралардағы құрылымдық ауытқуларды бақылау және бағалау үшін бұрыннан қолданылған. Технологияның соңғы жетістіктері мұнара құрылымдарының құрылымдық тұтастығын бағалау және басқару әдістерінде төңкеріс жасай отырып, нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікті, тиімділікті және бақылау мүмкіндіктерін қамтамасыз ететін жаңа геодезиялық әдістерге әкелді. Мысалы, лазерлік сканерлеу (2-сурет).

Lidar технологиясы. Лазерлік сканерлеу – бұл лазерлік сканерді өлшеудің негізгі құралы ретінде жоғары жылдамдықты сипаттамалары мен қолданыстағы геодезиялық түсірілім түрі (<https://www.prom-terra.ru/uslugi/geodezicheskie-raboty/lazernoe-skanirovanie.>, 2024). Lidars деп аталатын лазерлік сканерлер бұл технологияда объектінің бетіндегі нүктелердің координаттарын жылдам өлшеу үшін қолданылады (секундына бірнеше ондаған мың нүктеге жетеді). Нәтиже – «нүктелер бұлтты» деп аталатын нүктелер жиынтығы. Лазерлік сканерлеу процесінде әр нүктенің X, Y, Z координаттары және шағылысқан сигналдың қарқындылық индексі анықталады. Алынған «нүктелік бұлт» сканерлеуден кейін үш өлшемді сандық фотосуретке ұқсайтын шағылысқан сигналдың қарқындылығына байланысты боялады. Лазерлік сканерлердің (Lidar-лардың) қазіргі заманғы модельдерінің көпшілігінде нақты уақыт режимінде нүктелер бұлттың нақты реңктерге бояуға мүмкіндік беретін кіріктірілген бейне немесе камера бар. Нысанның күрделілігіне, оның көлеміне және техникалық сипаттамаларына байланысты сізге лазерлік түсірудің келесі түрлері ұсынылуы мүмкін (<https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy>, 2024).



2-сурет. Шухов мұнарасын лазерлік сканерлеу

Ескерту – автормен құрастырылған

Әуе лазерлік сканерлеу – кез келген әуе аппаратынан (ұшақ, тікұшақ, автогиросы, ұшқышсыз ұшу аппараты) жердегі объектілерді қоса алғанда және «Нүкте бұлтты» координаттарын алу арқылы жер бетіндегі лазерлік Эмитенттің жоғары жиілікті сәулелену технологиясы (<https://innoter.com/services/dannye-dzz/lazernoe-skanirovanie>, 2024). 1:500-1:5000 масштабтағы топографиялық жоспарларды, рельефтің цифрлық модельдерін, рельефтің цифрлық модельдерін және аумақтық, сызықтық объектілерді құру үшін ауаны лазерлік сканерлеу қолданылады.

Әдетте, ауаны лазерлік сканерлеу аэрофототүсіріліммен бір мезгілде түсіріледі, көрінетін және жақын инфрақызыл спектрлерде ажыратымдылығы 5-тен 15 см-ге дейінгі кескіндер алынады. Бұл технология инфрақұрылымдық жобалар үшін инженерлік зерттеулерде, қалалық басқаруда, карьерлер мен полигондар сияқты салалардағы топырақтың орын ауыстыру көлемін бағалауда және әртүрлі нысандарды бақылауда негізгі қолдануды табады.

Террастриялық лазерлік сканерлеу деп те аталатын жердегі лазерлік сканерлеу-лазер сәулелерін пайдалана отырып, жер беті, ғимараттар және т.б. туралы дәл үш өлшемді деректерді жинау технологиясы (<https://cognitivepilot.com/uncategorized/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie>, 2023).

Бұл әдіс 1:50-ден 1:500-ге дейінгі масштабта егжей-тегжейлі 3D модельдерін, қасбет жоспарларын және ауқымды рельефтік жоспарларды жасау үшін қолданылады. Жердегі лазерлік сканер 0,5 см-ге дейінгі нысандарды 0,5 мм-ге дейінгі дәлдікпен түсіру арқылы керемет дәлдікті қамтамасыз етеді. бұл әдісті тәуліктің кез келген уақытында қолдануға болады және 1:50 масштабтағы қасбеттерді түсіру үшін 4000 м² дейін және 1:500 масштабтағы топографиялық жоспарлар үшін 20 Га дейін өнімділікті қамтамасыз етеді. Жердегі лазерлік сканерлеу әмбебап, әртүрлі жағдайларға, соның ішінде туннельдер мен үңгірлер сияқты жабық кеңістіктерге жарамды, бұл оны күрделі құрылымдар мен үй-жайларды зерттеуге өте ыңғайлы етеді.

Ақпаратты жинаудың басқа әдістеріне қарағанда жердегі лазерлік сканерлеудің артықшылығы – бұл қосымша құрылғылар мен құрылғыларды (маркалар, рефлекторлар және т.б.) қажет етпейтін объектіні қашықтықтан зерттеу (Жильцова, 2020).

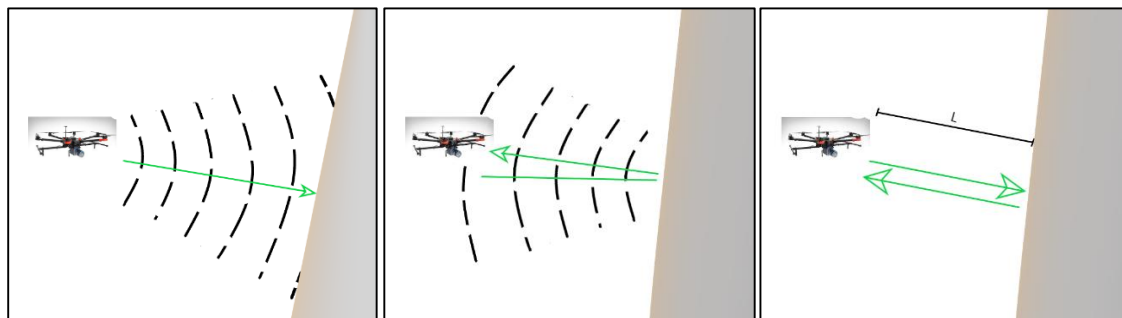
Мобильді лазерлік сканерлеу жер үсті немесе су тасығыштан үздіксіз режимде жүргізіледі, бұл ұзақ инфрақұрылым нысандарын, қалалық аумақтарды және күрделі құрылыстарды тиімді картаға түсіруге және 3D-модельдеуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс әсіресе автомобиль және теміржол, электр желілері мен көшелер сияқты желілік инфрақұрылымды үздіксіз картаға түсіру және модельдеу үшін өте қолайлы. Мобильді лазерлік сканерлеу сызбаның егжей-тегжейі 1-ден 5 см-ге дейін болған кезде 5-тен 8 см-ге дейінгі дәлдікті қамтамасыз етеді. Бұл әдістің өнімділігі тәулігіне 500 сызықтық километрге дейін жетуі мүмкін, түсіру жолағының ені 50-ден 250 м-ге дейін. мобильді лазерлік сканерлеу әуе сканерлеуіне ұқсас жоғары жылдамдық пен деректер көлемін қамтамасыз еткенімен, ол жердегі сканерлеудің дәлдігі мен егжей-тегжейін біріктіреді. Бұл технология картографиялық материалдарды жасау, сертификаттау, бақылау және инфрақұрылым нысандарының жағдайын құжаттау үшін кеңінен қолданылады.

Мобильді лазерлік сканерлеу технологиясы әуе сканерлеуінен деректерді алу жылдамдығы мен көлемін, ал дәлдік пен бөлшектерді жердегі сканерлеуден біріктірді. Қозғалыста түсіруді орындау технологиясы картографиялық материалдарды жасау, паспорттау, ұзақ инфрақұрылымдық объектілердің жай-күйін бақылау және бекіту үшін қолданылады.

Қазіргі заманғы lidar құрылғыларының көпшілігі әлдеқайда кішірек және арзанырақ болуы мүмкін, өйткені оларда бір компьютерлік чипте сәуле шығару және жарықты анықтау үшін қажетті барлық компоненттер бар – дегенмен, бұл құрылғылардың қайсысы қатты күйге жатады, бұл салада қызу пікірталас тақырыбы болып қала береді (Leslie, 2022).

Lidar, ол жарық анықтау және рейтинг дегенді білдіреді. Жарықты анықтау және диапазонды анықтау технологиясы (Lidar) жер бедері туралы жоғары дәлдіктің арқасында өте маңызды ақпарат көзіне айналады (Badia, 2022). Мұнара құрылымдарын түсіру кезінде Lidar нақты құрылым деректерін алу үшін белгілі бір принципті ұстанады. Мұнара құрылымдарын түсіру үшін lidar технологиясын қолдануға қатысты негізгі принциптердің түсіндірмесі:

1. Лазерлік сәулелену және шағылысу. Lidar жүйелері мақсатты аймақ бағытында жарық импульстарын шығаратын лазерлермен жабдықталған, бұл жағдайда мұнара дизайны (3-сурет). Бұл лазерлік импульстар мұнараға бағытталған жарық сәулесін жасау үшін бақыланатын түрде бағытталады.



3-сурет. Lidar-дің мұнара беттерімен өзара әрекеттесуі

Ескерту – автормен құрастырылған

2. Мұнара беттерімен өзара әрекеттесу. Лазер сәулесі мұнара құрылымына жеткенде, ол құрылым беттерімен әрекеттеседі. Лазерлік импульстар мұнара беттерімен, соның ішінде құрылымдық элементтермен, антенналармен және кез келген басқа элементтермен соқтығысқан кезде Lidar сенсорына қайта шағылысады.

3. Ұшу уақытын өлшеу. Lidar әрбір лазерлік импульстің сенсордан мұнара бетіне және кері өтуіне кететін уақытты өлшейді. Жарық жылдамдығын қолдана отырып, Lidar сенсор мен мұнара бетіндегі әрбір нүкте арасындағы қашықтықты (L) есептейді.

4. Нүктелік бұлт деректерін құру. Lidar сенсоры көптеген лазерлік импульстарды шығаратындықтан, ол мұнара бетіндегі әртүрлі нүктелер үшін көптеген қашықтық өлшемдерін жинайды. Бұл қашықтық өлшемдері үш өлшемді координаттардың тығыз жиынтығын құру үшін біріктіріліп, «нүктелер бұлты» деп аталады.

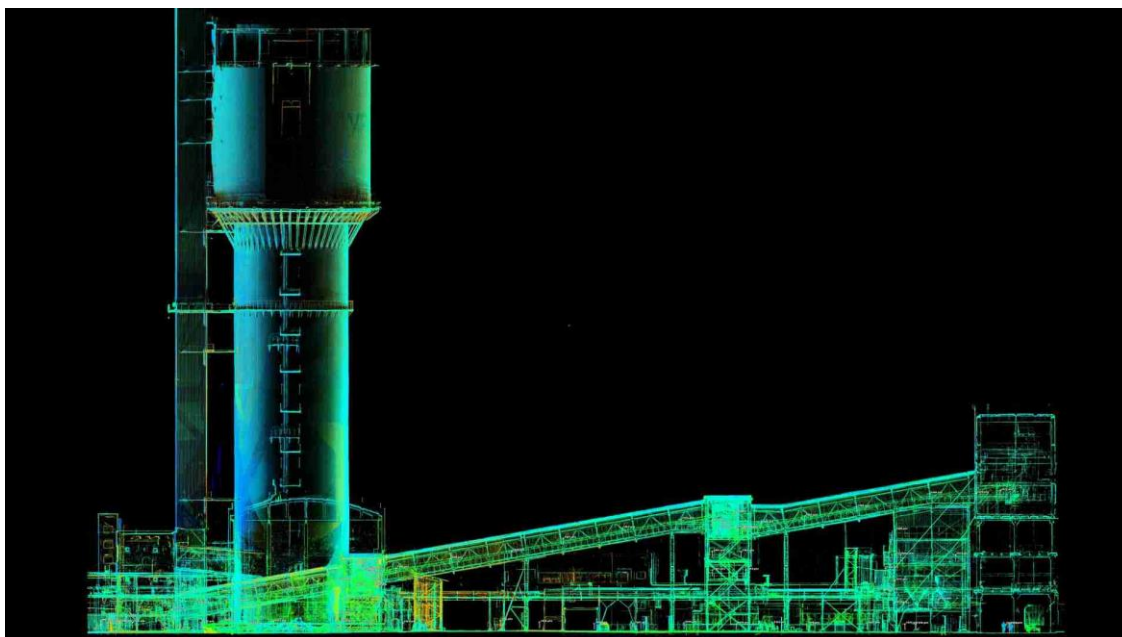
5. Нүктелік бұлтты талдау. Нүктелік бұлт мұнара құрылымындағы нүктелердің кеңістіктік таралуын білдіреді, оның пішіні мен ерекшеліктерін ұсақ бөлшектермен бекітеді. Нүктелік бұлт деректерін талдай отырып, мұнарадағы құрылымдық элементтердің, ауытқулардың, деформациялардың немесе қозғалыстардың нақты орналасуын анықтауға болады.

6. 3D модельдерін құру. Жинақталған «нүктелік бұлт» деректерін мұнара құрылымының жоғары дәлдіктегі үш өлшемді модельдерін жасау үшін пайдалануға болады (4-сурет). 3D модельдері мұнараның жан-жақты көрінісін қамтамасыз етеді, бұл егжей-тегжейлі талдау мен визуализацияға мүмкіндік береді. LiDAR деректері көбінесе мұнараның ортасы мен контекстің түсінуді жақсарту үшін жоғары ажыратымдылықтағы суреттер немесе спутниктік деректер сияқты басқа деректер көздерімен біріктіріледі. Қолданылатын жүйеге байланысты кейбір Lidar қондырғылары нақты уақыт режимінде бақылауды қамтамасыз етеді, бұл инженерлерге құрылымдық өзгерістер мен ауытқуларды байқауға мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, мұнара конструкцияларын түсіруге арналған Lidar технологиясы дәл лазерлік өлшемдерге және нүктелік бұлттың егжей-тегжейлі деректерін жасауға негізделген. Бұл әдіс мұнара құрылымының бөліктеріндегі кез-келген ауытқуларды, деформацияларды немесе мешысуларды дәл анықтауға мүмкіндік береді. Lidar әсіресе дәстүрлі биіктіктегі құрылымдарды бақылау үшін пайдалы түсіру әдістері күрделілігі бар немесе практикалық емес. Lidar технологиясы мұнара құрылымдарына техникалық қызмет көрсету және басқару бойынша негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Lidar технологиясы мұнара конструкцияларындағы ауытқуларды анықтаудың геодезиялық әдістерінде ойынды өзгертті. Оның дәл картаға түсірілуі, нақты уақыттағы бақылау мүмкіндіктері, қиын жағдайларға бейімделуі және экономикалық тиімділігі оны

мұнара құрылымдарының қауіпсіздігі мен беріктігін қамтамасыз ететін баға жетпес құралға айналдырады. Технология одан әрі дамыған сайын, lidar-дың құрылымдық мониторингтегі рөлі маңызды инфрақұрылымның жалпы тұрақтылығына ықпал ете отырып, одан да маңызды болуы мүмкін.



4-сурет. Су мұнарасын лазерлік сканерлеу және 3D моделі

Ескерту – автормен құрастырылған

InSAR (синтезделген апертурасы бар Интерферометриялық радар). Синтезделген апертурасы бар интерферометриялық радар (ағылш. Interferometric synthetic aperture radar, InSAR) – жерді геодезиялауда және қашықтықтан зондтауда қолданылатын радиолокациялық әдіс. Уақыт өте келе радиолокациялық толқындардың интерференциялық суреттерін талдай отырып, InSAR мұнара құрылымдарындағы шамалы деформацияларды да анықтай алады (<https://www.wikiwand.com/ru/Insar>, 2024). Бұл әдіс қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді құрылымдық өзгерістерді бақылау үшін тиімді, бұл оны ұзақ уақыт бойы мұнаралардың тұрақтылығын бағалау үшін құнды етеді.

Мұнара құрылымдарын бақылау контекстіндегі InSAR технологиясы:

1. Радиолокациялық сигналдың сәулеленуі. InSAR жер бетінің суретін алу үшін радиолокациялық сигналдарды пайдаланады (<https://masters.donntu.ru/2011/igg/zhegylina/-library/translate.htm>, 2024). Бұл радиолокациялық сигналдар микротолқынды диапазонда және бұлттар мен қараңғылыққа ене алады, бұл InSAR -ауа-райына және тәулік бойы бақылауға жарамды етеді.

2. Мұнара беттерімен өзара әрекеттесу. InSAR жүйесі шығаратын радиолокациялық сигналдар жер бетіне бағытталады және мұнара құрылымымен өзара әрекеттеседі. Радиолокациялық сигналдар мұнара беттерімен соқтығысқанда, олар ішінара спутникке қайта шағылысады.

3. Сигнал фазасын өлшеу. InSAR технологиясы берілген және қабылданған радиолокациялық сигналдар арасындағы фазалық айырмашылықты өлшеуді қамтитын интерферометрия принципіне негізделген. Радиолокациялық сигнал фазасы жүріп өткен

қашықтыққа сезімтал және базалық сызық деп аталатын осы қашықтықтағы кез келген өзгерістер фазаның өзгеруіне әкеледі.

4. Интерферограмма генерациясы. Өртүрлі уақытта алынған радиолокациялық сигналдардың фазаларын салыстыра отырып, InSAR интерферограмма жасайды. Интерферограмма – мұнара құрылымы мен оның бөліктеріндегі фазалық айырмашылықтың визуалды көрінісі.

5. Деформация сипатын анықтау. Интерферограммадағы өзгерістер құрылымның деформациясын көрсетеді, мұнара құрылымдары жағдайында деформациялар құрылымныңмешысуын, қисаюын немесе шөгуін көрсетуі мүмкін.

6. Деформациялар туралы ақпарат алу. InSAR технологиясы мұнара құрылымындағы деформациялардың сипаты мен дәрежесін түсіну үшін қолдануға болатын деформациялар туралы сандық ақпаратты алуға мүмкіндік береді.

InSAR радиолокациялық деректер әр түрлі уақытта жиналған кезде қайта өту режимінде қолданылған кезде тиімді болады. Уақыт қатарын талдау уақыт бойынша өзгерістерді бақылауға, тенденцияларды анықтауға және мұнара құрылымындағы деформациялардың уақытша эволюциясын түсінуге мүмкіндік береді.

Жоғары уақыт пен кеңістіктік ажыратымдылықтың арқасында InSAR бақылаулары Құрылыс және пайдалану кезеңінде тұрақты жергілікті бақылауды толықтыра алады. [13]

Дәстүрлі / әдеттегі түсіру әдістерімен салыстырғанда, InSAR қауіпті немесе жету қиын аймақтарды қоса алғанда, үлкен аумақтарда өлшеу нүктелерінің жоғары тығыздығын қамтамасыз етудің артықшылығын ұсынады. [14] осылайша, InSAR технологиясы радиолокациялық сигналдарды талдау және топырақтың деформациясын жоғары дәлдікпен анықтау арқылы мұнара құрылымдарын бақылаудың күрделі және қашықтағы құралдарын ұсынады. Бұл мүмкіндік InSAR – ұзақ уақыт бойы мұнара құрылымдарының тұрақтылығы мен күйін бағалаудың құнды құралына айналдырады.

Күрделі өнеркәсіптік жағдайларда құрылымдардың тұтастығын бағалау өлшеудің озық және дәл әдістерін қажет етеді. Бұл салыстырмалы талдауда біз екі жаңа тәсілді қарастырамыз – Lidar және InSAR (1-кесте). Олардың әрқайсысы мұнара құрылымдарын бағалаудың ерекше перспективаларын ұсынады. Бұл әдістер әртүрлі технологияларды, дәлдікті және операциялық ойларды алдыңғы қатарға шығарады, бұл олардың тиісті күштері мен шектеулерін егжей-тегжейлі зерттеуді қажет етеді.

1-кесте. Lidar және InSAR салыстырмалы талдауы

Критерий	Lidar	InSAR
1	2	3
Теңшеу немесе орнату уақыты	Дәстүрлі түсіру әдістерімен салыстырғанда жылдам орнату. Lidar құрылғысы актам және мобильді, бұл оларды орнатуды жеңілдетеді. Оны әртүрлі платформаларға орнатуға болады (жер, ауа немесе су). Жеңіл жабдық жылдам орнатуды қамтамасыз етеді. Мұнаралардың әртүрлі конструкцияларына Елеулі түзетулерсіз бейімделу мүмкіндігі	Күрделі интерферометриялық жүйелерге байланысты lidar-мен салыстырғанда орнату уақыты ұзағырақ.

1-кестенің соңы

1	2	3
Сыртқы факторларға тәуелділік	Тығыз өсімдіктер немесе кедергілер арқылы шектеулі ену, бұл кейбір жағдайларда деректерді жинауға әсер етеді.	Ол тек ашық ауада қолданылады, ғимарат ішінде қолдануға жарамайды. Тығыз қоныстанған қалалық жерлерде орналастыру кезінде қиындықтар туындауы мүмкін.
Дәлдік	Миллиметрге дейінгі дәлдікті қамтамасыз ететін егжей-тегжейлі 3D ақпаратын алудың жоғары дәлдігі. Кеңістіктік бөлшектері жоғары ауқымды және шағын масштабты деформацияларды тиімді бекітеді.	Деформациялар мен шөгінділерді өлшеудің жоғары дәлдігі миллиметрге дейін. Кішкене мешысуларға сезімтал, бұл оны әрең байқалатын құрылымдық өзгерістерді анықтауға жарамды етеді. Үлкен аумақта ауқымды деформацияларды бақылау үшін тамаша. Тік және көлденең мешысуларды дәл анықтай алады. Операторлар дәлдікті қамтамасыз ету үшін интерферометрия принциптерін түсінуі керек.
Құрылыс туралы деректерді жинау	Нүктелік бұлттардың тығыздығы жоғары деректерді жылдам жинау нақты уақыт режимінде жиі бақылауға мүмкіндік береді.	Уақыт өте келе құрылымдық өзгерістерді бақылауға мүмкіндік беретін үздіксіз деректер ағынын қамтамасыз етеді.
Шектеулер	Әртүрлі жағдайларда оңтайлы дәлдікке жету үшін мұқият жоспарлау мен калибрлеуді қажет етеді.	Үй ішінде шектеулі қолдану; негізінен сыртқы бақылау үшін қолайлы.
Қаржылық шығындар және экономикалық тиімділік	Біқшам және арзан Lidar құрылғыларының жаңа тенденциялары олардың қол жетімділігін арттырады. Мұнара құрылымдарын дәл бақылау және бағалау арқылы ұзақ мерзімді құндылықты қамтамасыз етеді.	Мамандандырылған радиолокациялық жабдықтар мен инфрақұрылымға байланысты жоғары бастапқы шығындар. Ағымдағы техникалық қызмет көрсету шығындары жалпы шығындарға үлес қоса алады. Ауқымды мониторинг үшін дәстүрлі зерттеу әдістерімен салыстырғанда шығындарды үнемдеуді қамтамасыз етеді. Ол жоғары бастапқы шығындарға ие болуы мүмкін, бірақ тұрақты бақылау арқылы ұзақ мерзімді құндылықты қамтамасыз етеді.
<i>Ескерту – автормен құрастырылған</i>		

Lidar және InSAR технологиялары айқын артықшылықтары құнды геодезиялық әдістер болып табылады. Lidar технологиясы мұнара құрылымдарындағы кішігірім ауытқуларды, деформацияларды және шиыршықтарды бағалауды егжей-тегжейлі зерттейді. Керісінше, InSAR ауқымды деформациялардың кеңірек уақытша перспективасын қамтамасыз етеді, бірақ ұсақ бөлшектерді алуда шектеулер болуы мүмкін. Lidar мен InSAR арасындағы таңдау дәлдік талаптары, бақылау ауқымы және

қоршаған орта жағдайлары сияқты факторларды ескере отырып, мұнара құрылымдарын бағалаудың нақты талаптарына байланысты.

Сәулет, инженерия және археология кеңістікті және 3D қайта құруды әдеттегі контексте пайдаланатын ғылымдар екенін ескере отырып, кеңістіктік деректер компоненттерін тіркеу зерттеулерде қажет деп саналады. Бұл тұрғыда күрделі кеңістіктер мен объектілерді бейнелеу дәлдігі шындық модельдерін алу үшін өте маңызды (Моуано, 2022).

Қорытынды. Бұл мақалада геодезиялық әдістердің, атап айтқанда InSAR және lidar технологияларының мұнара түріндегі өнеркәсіптік құрылыстарды бағалау мен бақылаудағы негізгі рөлі қарастырылады. Бұл құрылымдардың құрылысы мен техникалық қызмет көрсетуіндегі қиындықтар олардың тік сипатымен бірге құрылымның дәлдігі мен тұтастығын қамтамасыз ету үшін озық геодезиялық әдістерді қолдануды талап етеді.

Әуе, жер үсті және мобильді лазерлік сканерлеуді қоса алғанда, әртүрлі геодезиялық әдістерді зерттеу нақты уақыт режимінде дәлдікті, тиімділікті және бақылау мүмкіндіктерін арттыратын технологиялардың эволюциясын көрсетеді. Lidar технологиясы дәл лазерлік өлшемдерді ұсына отырып және нүктелік бұлт туралы егжей-тегжейлі мәліметтер жасай отырып, негізгі ойыншыға айналады. Бұл деректер суреттер мен спутниктік деректер сияқты басқа көздерді біріктірумен бірге инженерлерге нақты уақыт режимінде, әсіресе дәстүрлі түсіру әдістері қиындықтарға тап болатын сценарийлерде негізделген шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Lidar дамып, биік құрылыстарды бақылауда өзінің тиімділігін дәлелдеуді жалғастыра отырып, оның болашақ биік құрылыстарға техникалық қызмет көрсету және басқару стратегияларын қалыптастырудағы рөлі барған сайын айқын бола бастады. Мақала геодезиялық технологиялардың трансформациялық әсеріне жарық түсіреді, олардың маңызды инженерлік құрылымдардың беріктігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі таптырмас рөлін көрсетеді.

Мақалада өнеркәсіптік құрылыстардағы мұнара түріндегі бақылаулар геодезиялық зерттеуде үлкен үлес қосады, және де олардың алдында тұрған мәселелер мен қолжетімді инновациялық шешімдерді шешуге мүмкіндік тудырады. Қазіргі уақытта өнеркәсіптер дамып келе жатқандықтан, бұл мұнара типті құрылымдарды салу, техникалық қызмет көрсету және бақылау кезінде неғұрлым негізделген шешімдер қабылдауға жол ашады, сондай-ақ, олардың әртүрлі салаларда тұрақтылығы мен функционалдығын қамтамасыз етеді.

Әдебиеттер тізімі

- Tatiana Pimshina, Ivan Pimshin, Natalia Pichkurova, Aleksey Reviakin. (2023). Determination of Accumulated Deformation of a High altitude Chimney for its Operational Reliability Restoration. *Transportation Research Procedia*, 2023, 68, 174-182, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214652300025X>.
- Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа / lib4all.ru. 11.01.2024. <http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part97-297.php>. Geodezicheskie raboty pri stroitel'stve sooruzhenij bashennogo tipa. <http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part97-297.php>.
- Д.С. Корецкий, Г.А. Корецкая. (2022). Геодезический мониторинг при эксплуатации промышленных дымовых труб // *Вестник КУЗГТУ*. № 5, 62-71. D.S. Koreckij, G.A. Koreckaja. (2022). Geodezicheskij monitoring pri jekspluatácii promyshlennyh dymovyh trub // *Vestnik KUZGTU*. № 5, 62-71.
- Лазерное сканирование / prom-terra.ru. 05.01.2024. URL: <https://www.prom-terra.ru/uslugi/geodezicheskie-raboty/lazernoe-skanirovanie>. Lazernoe skanirovanie / prom-terra.ru. 05.01.2024. URL: <https://www.prom-terra.ru/uslugi/geodezicheskie-raboty/lazernoe-skanirovanie>.
- Лазерное сканирование зданий и сооружений: все, что нужно знать заказчику / gektagroup.ru. 05.01.2024.

- URL: URL: <https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy>. Lazernoe skanirovanie zdaniy i sooruzheniy: vse, chto nuzhno znat' zakazchiku / gektagroup.ru. 05.01.2024. URL: <https://gektargroup.ru/articles/geodeziya/lazernoe-skanirovanie-zdaniy-i-sooruzheniy>
- Лазерное сканирование (LIDAR) / innoter.com. 05.01.2024. URL: <https://innoter.com/services/dannye-dzz/lazernoe-skanirovanie>. Lazernoe skanirovanie (LIDAR) / innoter.com. 05.01.2024. URL: <https://innoter.com/services/dannye-dzz/lazernoe-skanirovanie>.
- Наземное лазерное сканирование в сельском хозяйстве / cognitivepilot.com. 20.11.2023. URL: <https://cognitivepilot.com/uncategorized/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie>. Nazemnoe lazernoe skanirovanie v sel'skom hozjajstve / cognitivepilot.com. 20.11.2023. URL: <https://cognitivepilot.com/uncategorized/nazemnoe-lazernoe-skanirovanie>.
- А.В. Жильцова. Использование наземного лазерного сканирования при Мониторинге строительных объектов и конструкций. Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. – № 10. 182-188. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-monitoringe-stroitelnyh-obektov-i-konstruktsiy>. A.V. Zhil'cova. Ispolzovanie nazemnogo lazernogo skanirovaniya pri Monitoringe stroitel'nyh ob#ektov i konstrukcij. Nauchno-obrazovatel'nyj zhurnal dlja studentov i prepodavatelej «StudNet». 2020. – № 10. 182-188. <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nazemnogo-lazernogo-skanirovaniya-pri-monitoringe-stroitelnyh-obektov-i-konstruktsiy>
- M. Leslie. (2022). On-Chip LiDAR Technology Advances for Cars, Cell Phones. Engineering. V 18. 3–5.
- A. Badia, M. Gisbert. (2020). LiDAR technology to map forest continuity: A municipality tool to prevent forest fires in a Wildland–Urban interface. Applied Geography. 102134
- Insar / Wikiwand.com. 19.01.2024. URL: <https://www.wikiwand.com/ru/Insar>
- Контроль деформации земной поверхности с околоземной орбиты с помощью спутников / masters.donntu.ru. 15.01.2024. URL: <https://masters.donntu.ru/2011/igg/zhegylina/library/translate.htm>. Kontrol' deformacii zemnoj poverhnosti s okolozemnoj orbity s pomoshh'ju sputnikov // masters.donntu.ru. 15.01.2024. URL: <https://masters.donntu.ru/2011/igg/zhegylina/library/translate.htm>.
- J. Aswathi, R.B. Binoj Kumar, T. Oommen, E.H. Bouali, K.S. Sajinku. (2022). InSAR as a tool for monitoring hydropower projects: A review. Energy Geoscience. 160-171.
- K. J. Reinders, G. Giardina, F. Zurfluh, J. Ryser, R.F. Hanssen. (2022). Proving compliance of satellite InSAR technology with geotechnical design codes. Transportation Geotechnics. 100722.
- Juan Moyano, Ángel Justo-Estebarez, Juan E. Nieto-Julián, Alfonso Ojeda Barrera, María Fernández-Alconchel. (2022). Evaluation of records using terrestrial laser scanner in architectural heritage for information modeling in HBIM construction: The case study of the La Anunciación church (Seville). Journal of Building Engineering. 62.

Information about authors

Kussaiynova Gulzat Satbekovna – master of technical sciences, Geoinfo LLP, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: gulzat.kusaiynova@mail.ru, +7 708 106 08 70

Khmyrova Yelena Nikolayevna – candidate of technical sciences, Non-Profit Joint-Stock Company Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: hmyrovae@mail.ru

Satbergenova Assel Kuandykovna – master of technical sciences, Non-Profit Joint-Stock Company Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: A.satbergenova2@gmail.com

Igemberlina Marzhan Bazarbayevna – PhD, Non-Profit Joint-Stock Company Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan, E-mail: igemberlina@mail.ru

Tuaqbaı Ásem Serikqyzy – PhD, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan, E-mail: assem_jan@mail.ru
