

## ГЕОДЕЗИЯ/GEODESY

# ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ ИЗ СБОРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Научная статья

**Вдовенко В.А.<sup>1,\*</sup>, Белов А.В.<sup>2</sup>, Кожевникова И.В.<sup>3</sup>**

<sup>1, 2</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

<sup>3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (science.khabarovsk[at]yandex.ru)

### Аннотация

Конструктивные элементы зданий и сооружений находятся под постоянными либо временными внешними воздействиями (природного, техногенного характера), которые приводят в той или иной степени к деформациям конструкций. В статье описан практический случай выполнения работ по оценке технического состояния сооружения из сборных металлоконструкций, его геодезической составляющей. Исследования выполнялись с использованием электронного безотражательного тахеометра SOKKIA SET530R и комплекса вспомогательного программного обеспечения на платформе nanoCAD от компании «Нанософт».

В ситуации невозможности проведения стандартной процедуры геодезического мониторинга была предложена концепция проведения визуально-графического сравнительного анализа, выявляющая нежелательные деформации в конструкциях с регулярной структурой.

**Ключевые слова:** геодезическое обследование, тахеометр, сборные металлоконструкции, напряженно-деформированное состояние, визуально-графический анализ.

## GEODETIC DEFORMATION ANALYSIS DURING THE EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF FABRICATED STRUCTURAL STEEL

Research article

**Vdovenko V.A.<sup>1,\*</sup>, Belov A.V.<sup>2</sup>, Kozhevnikova I.V.<sup>3</sup>**

<sup>1, 2</sup> Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation

\* Corresponding author (science.khabarovsk[at]yandex.ru)

### Abstract

Structural elements of buildings and facilities are under permanent or temporary external influences (natural, man-made), which lead to deformations of structures to a greater or lesser extent. The article describes a practical case of work on the evaluation of the technical condition of fabricated structural steel and its geodetic component. The research was carried out using an electronic non-reflective total station SOKKIA SET530R and a set of auxiliary software on the platform nanoCAD from the company 'Nanosoft'.

In a situation where a standard geodetic monitoring procedure is not possible, a concept of visual-graphic comparative analysis has been proposed to detect undesirable deformations in structures with regular structure.

**Keywords:** geodetic examination, total station, fabricated structural steel, stress-strain state, visual-graphic analysis.

### Введение

Конструктивные элементы зданий и сооружений находятся под постоянным либо временным внешним воздействием, которое может быть как природного, так и техногенного характера. Совокупность этих воздействий, влияющих на объект капитального строительства, приводит в той или иной степени к деформации зданий и сооружений. Цель деформационного геодезического анализа – использование геодезических методов при получении данных о критических отклонениях конструкций зданий и сооружений от заданных в проекте, с определением временного отрезка возникновения этих изменений [1].

Степень разработанности темы статьи определяется исследованием научных публикаций в области прикладной геодезии применительно к задачам геодезического мониторинга за деформациями инженерных сооружений [2], [3], [4]. Авторами наиболее значимых трудов являются такие известные ученые как Брынь М. Я., Беккер Н., Васютинский И. Ю., Гуляев Ю. П., Жуков Б. Н., Зайцев А. К., Карпик А. П., Клюшин Е. Б., Лебедев Н. Н., Левчук Г. П., Могильный С. Г., Пимшин Ю.И., Рязанцев В. Е., Хорошилов В. С., Шоломицкий А. А., Ямбаев Х. К. [5], [6], [7], [8] и др. [9], [10], [11].

### Постановка задачи

Объектом исследования является навес над трибуной футбольного стадиона на Дальнем Востоке (коллаж рис.1). На момент выполнения работ по оценке технического состояния объекта прошло пять лет после сдачи его в эксплуатацию и полтора года после производства работ по проекту реконструкции/усиления.



Рисунок 1 - Навес над трибуной футбольного стадиона, общие виды

Изначально проект навеса представлял собой сборную стальную консольную ферму на оттяжках, размерами 114 на 22 метра, на опорах-стойках из ферменных стальных столбов (рис. 2а). По проекту усиления, целью которого было обеспечение постоянного использования в качестве кровельного материала профилированного металлического листа вместо съёмной тентовой ткани, а также предотвращения подъёма навеса преобладающими в этих местах сильными встречными ветрами, были проведены работы по внедрению в рабочую схему дополнительных оттяжек сзади для опорных стоек, с целью компенсации опрокидывающего момента появившегося из-за существенного увеличения массы консольной части, а также частичная замена тросов консольных оттяжек на жесткие балки (рис. 2б).

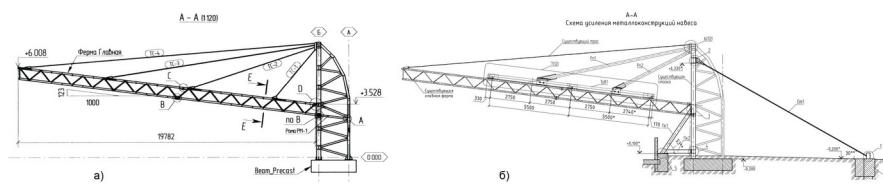


Рисунок 2 - Конструктивная схема навеса трибуны

Навес сооружен над восточной трибуной стадиона, образованной склоном природного рельефа. Его стойки имеют независимый фундамент в виде прямоугольного в плане монолитного железобетонного ростверка на свайном основании (из буроинъекционных свай).

Структурно в конструкции навеса выделяются 16 основных сечений, в которых располагаются ферменная опорно-стойка (далее колонна) и примыкающая к ней главная ферменная балка на оттяжках (далее балка). Элементы конструкций пронумерованы с севера на юг, где К1 самая северная колонна. Ситуационный план представлен на рис. 3.

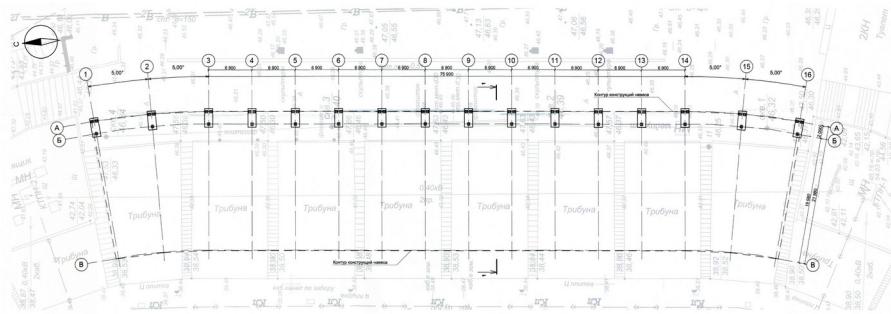


Рисунок 3 - Ситуационный план объекта

Для объекта отсутствуют сведения о геодезическом мониторинге и факте его проведения на этапе первоначального сооружения и реконструкции, также на металлоконструкциях отсутствуют деформационные метки для возможности проведения стандартной процедуры геодезического мониторинга для сверки с эталонным состоянием.

Целью исследования являлось выполнение анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкций в комплексе выполнения работ по экспертной оценке технического состояния сооружения.

### Основные результаты и обсуждение

Исследования выполнялись с использованием электронного безотражательного тахеометра SOKKIA SET530R и комплекса вспомогательного программного обеспечения на платформе nanoCAD от компании «Нанософт».

Изначальным планом было: проведение одного краткосрочного двухэтапного мониторинга (зима-лето), для оценки стабильности геометрического положения конструкции при различных температурных и нагрузочных условиях (снежный наст).

Для этого с использованием принципов электронно-блочной тахеометрии был получен файл точек, отражающих пространственное положение главных конструктивных элементов сооружения, колонн и балок в 16-ти сечениях, собранных наведением «на глаз» равномерным шагом вдоль их главных плоскостей и коррекцией поперечного наведения на центральную ось [12], [13].

Положения точек консольной части навеса получены с одной станции, внизу посередине у бровки поля, и собраны вдоль осевых линий нижних поясов ферменных балок с фиксацией продольного положения фланцев и законцовок. Положения точек ферменных колонн получены с двух станций (на площадке восточнее за трибунами) и собраны из двух наборов данных для поперечных и продольных отклонений при наблюдении плоскостей центральной двутавровой балки. Прогиб круглых стальных оттяжек и положения точек задних анкеров получены с трех станций, на площадке за трибунами. Файлы точек всех станций сводились в единую съемку через промежуточные точки временных реперов на бетонных конструкциях трибун. Привязка к глобальным системам координат не выполнялась, все результаты даны в условной системе координат, ось которой проходит вдоль основной линии расположения навеса/трибуны/поля.

В процессе производства работ, для выполнения промежуточной визуальной оценки характера деформаций, использовались возможности программного комплекса nanoCAD. Для этого точки однотипных элементов конструкций объединялись в блок и поворачивались так, чтобы основные рабочие плоскости были сориентированы вдоль основных координатных плоскостей CAD системы. Далее для этих блоков выполнялась разномасштабная по осям линейная трансформация. В результате деформации сооружения на изображении приобретали гипертрофированный характер, что упрощало визуальное восприятие характера деформаций и способствовало поиску «проблемных» мест. На рис. 4 представлена раскадровка «3d облёта» колонн центральной части навеса, где колонна К7 смешена вперед и имеет значительно отличающийся от соседних угол поперечного наклона.



Рисунок 4 - Скриншоты из CAD системы (раскадровка)

В развитие этого приема в итоговый отчет вошли графики-профилограммы, где положения точек однотипных элементов конструкции отображены на профилях характерных разрезов в разных масштабах по продольным и поперечным осям.

Графики высотных отклонений построены для трех вертикальных сечений, включающих в себя оба края и середину ферменной балки, и представлены на рис. 5. Данные на графике представлены в виде относительных высотных отклонений в точках среза и вертикальный масштаб ситуации увеличен в 100 раз.

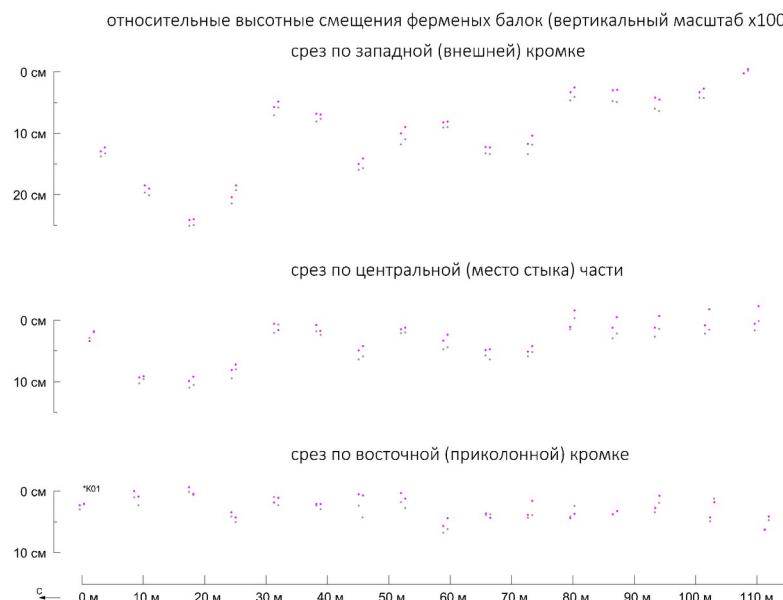


Рисунок 5 - Графики высотных отклонений

Для тех же точек были построены графики плановых отклонений, и в дополнение, плановых отклонений двух срезов 12 колонн центральной части (по проекту располагаются на прямой), на уровне земли и на высоту крепления

консоли (рис. 6). Данные на графике представлены в виде относительных горизонтальных отклонений, поперечный масштаб увеличен в 100 раз, а для плановых отклонений колонн на уровне стыка, отображенных красными стрелками, оба масштаба увеличены в 100 раз.

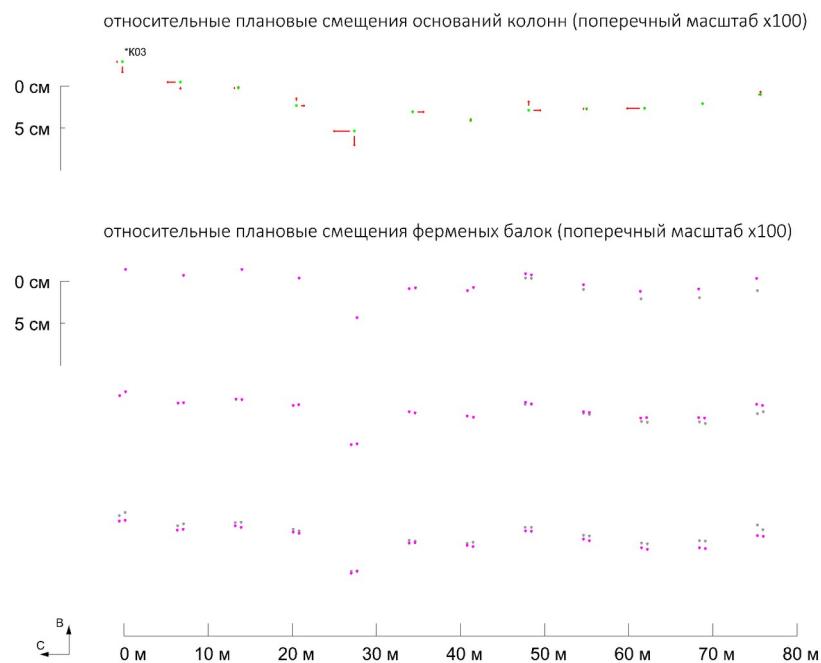


Рисунок 6 - Графики горизонтальных отклонений

Также в рамках оценки напряженно-деформированного состояния была предложена концепция визуально-графического сравнительного анализа. Где точки однотипных элементов (балок и оттяжек) вырезались и переносились в новую пространственную матричную структуру так, что при наслаждении друг на друга можно увидеть весь диапазон существующих деформированных состояний и выделить маски для сравнительного анализа.

Для круглых оттяжек (зеленые справа) было выделено 4 группы состояний, которые на маске обозначены окружностями (рис. 7). На рис. 8 представлен фрагмент приложения 1 к отчету. Для ферменных балок общее поле прогибов выделено серой зоной и также используется как маска для сравнительного анализа. На проекциях ферменных балок, левая сторона соответствует внешнему краю балки, правая сторона соответствует краю, стыкуемому с колонной. Стоит заметить, что поперечный масштаб деформаций многократно увеличен и различается для оттяжек и балок.



Рисунок 7 - Полный диапазон деформированных состояний

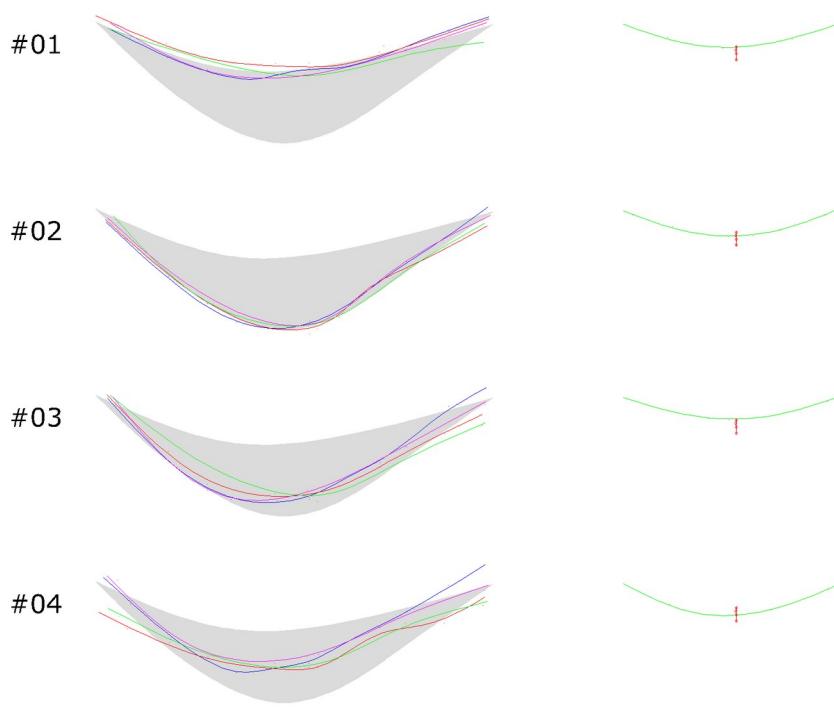


Рисунок 8 - Фрагмент приложения 1, отчет

### **Заключение**

Хотя использованные визуально-графические методы не являются математически точными, в них используются принципы классического математического анализа для поиска точек экстремума и смены кривизны.

Считаем также возможным развитие предлагаемого метода, с созданием математических алгоритмов, для которых входными данными будут служить профили деформаций с аппроксимацией их полиномами заданной степени.

### **Конфликт интересов**

Не указан.

### **Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### **Conflict of Interest**

None declared.

### **Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### **Список литературы / References**

1. Главинский Д.В. Методика непрерывного автоматизированного мониторинга строительных конструкций покрытия в ледовом дворце «Уральская молния» / Д.В. Главинский // Мониторинг. Наука и безопасность. — 2011. — № 3. — С. 64–68.
2. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. — М. : Стандартинформ, 2017. — 61 с.
3. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100941> (дата обращения: 10.07.2024).
4. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097510> (дата обращения: 10.07.2024).
5. Штунцайгер И.Е. Практический опыт устройства стационарных автоматизированных систем мониторинга строительных конструкций на олимпийских объектах в городе Сочи / И.Е. Штунцайгер, Д.А. Лысов, А.С. Денисов [и др.] // Строительство и реконструкция. — 2015. — № 4(60). — С. 67–71.
6. Шоломицкий А.А. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка / А.А. Шоломицкий, Е.К. Лагутина, Е.Л. Соболева // Вестник СГУГиТ. — 2017. — Т. 22, № 3. — С. 45–59.
7. Becker N. Structural Condition Assessments of Existing Buildings and Designated Structures Guideline / N. Becker, P. Eng, D. Ireland [et al.]. — 2016. — 18 p.
8. Mogilny S. BIM and forecasting deformations in monitoring structures / S. Mogilny, A. Sholomitskii, E. Lagutina // GeoScience Engineering. — 2019. — Vol. LXV, № 3. — P. 50–57. DOI: 10.35180/gse-2019-0018.
9. Гайрабеков М.Б.И. Геодезическая методика определения геометрии и анализа качества установки строительных конструкций / М.Б.И. Гайрабеков, Ю.И. Пимшин, И.Г. Гайрабеков [и др.] // Грозненский естественнонаучный бюллетень. — 2022. — Т. 7, № 4(30). — С. 22–31.

10. Мазуров Б.Т. Анализ геодезических измерений с учетом динамики объектов мониторинга / Б.Т. Мазуров // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2012. — № 2/1. — С. 18–21.
11. Шеховцов Г.А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова. — Н. Новгород : ННГАСУ, 2009. — 156 с.
12. Вдовенко А.В. Современные методы геодезического контроля на примере определения вертикальности элементов строящегося здания / А.В. Вдовенко, В.А. Вдовенко, П.И. Егоров [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — № 6(120). — С. 26–31.
13. Михайлов В.И. Опыт применения электронного тахеометра для измерения вертикальности стен / В.И. Михайлов, С.И. Кононович, Ю.Н. Чиберкуч // Главный инженер в строительстве. — 2013. — № 9. — С. 26–31.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Glavinskiy D.V. Metodika nepreryvnogo avtomatizirovannogo monitoringa stroitel'nykh konstruktsiy pokrytiya v ledovom dvortse «Ural'skaya molniya» [Methodology of continuous automated monitoring of the pavement building structures in the ice palace 'Ural Lightning'] / D.V. Glavinskiy // Monitoring. Nauka i bezopasnost' [Monitoring. Science and Safety]. — 2011. — № 3. — P. 64–68. [in Russian]
2. SP 305.1325800.2017 Zdaniya i sooruzheniya. Pravila provedeniya geotekhnicheskogo monitoringa pri stroitel'stve [SP 305.1325800.2017 Buildings and structures. Rules for geotechnical monitoring during construction]. — Moscow : Standartinform, 2017. — 61 p. [in Russian]
3. GOST 31937-2011 Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya [GOST 31937-2011 Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition]. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100941> (accessed: 10.07.2024). [in Russian]
4. SP 70.13330.2012 Nesushchie i ogranzhdayushchie konstruktsii. Obnovlennaya redaktsiya SNiP 3.03.01-87 [SP 70.13330.2012 Bearing and enclosing structures. Updated edition of SNiP 3.03.01-87]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097510> (accessed: 10.07.2024). [in Russian]
5. Shtunzaiger I.E. Prakticheskiy optyt ustroystva statcionarnykh avtomatizirovannykh sistem monitoringa stroitel'nykh konstruktsiy na olimpiyskikh ob'ektakh v gorode Sochi [Practical experience of stationary automated monitoring systems for building structures at the Olympic venues in Sochi] / I.E. Shtunzaiger, D.A. Lysov, A.S. Denisov [et al.] // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya [Construction and Reconstruction]. — 2015. — № 4(60). — P. 67–71. [in Russian]
6. Sholomitskiy A.A. Vysokotochnye geodezicheskie izmereniya pri deformatsionnom monitoringe akvaparka [High-precision geodetic measurements at deformation monitoring of water park] / A.A. Sholomitskiy, E.K. Lagutina, E.L. Soboleva // Vestnik SGUGiT [Bulletin of SSUGiT]. — 2017. — Vol. 22, № 3. — P. 45–59. [in Russian]
7. Becker N. Structural Condition Assessments of Existing Buildings and Designated Structures Guideline / N. Becker, P. Eng, D. Ireland [et al.]. — 2016. — 18 p.
8. Mogilny S. BIM and forecasting deformations in monitoring structures / S. Mogilny, A. Sholomitskii, E. Lagutina // GeoScience Engineering. — 2019. — Vol. LXV, № 3. — P. 50–57. DOI: 10.35180/gse-2019-0018.
9. Gairabekov M.B.I. Geodezicheskaya metodika opredeleniya geometrii i analiza kachestva ustanovki stroitel'nykh konstruktsiy [Geodetic methodology for determining the geometry and analysing the installation quality of building structures] / M.B.I. Gairabekov, Y.I. Pimshin, I.G. Gairabekov [et al.] // Groznetskiy estestvennoauchnyy byulleten' [Grozny Natural Science Bulletin]. — 2022. — Vol. 7, № 4(30). — P. 22–31. [in Russian]
10. Mazurov B.T. Analiz geodezicheskikh izmereniy s uchetom dinamiki ob'ektov monitoringa [Analysis of geodetic measurements taking into account the dynamics of monitoring objects] / B.T. Mazurov // Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Proceedings of Universities. Geodesy and Aerial Photography]. — 2012. — № 2/1. — P. 18–21. [in Russian]
11. Shekhovtsov G.A. Sovremennye geodezicheskie metody opredeleniya deformatsiy inzhenernykh sooruzheniy [Modern geodetic methods of determining deformations of engineering structures] / G.A. Shekhovtsov, R.P. Shekhovtsova. — Nizhniy Novgorod : NNSASU, 2009. — 156 p. [in Russian]
12. Vdovenko A.V. Sovremennye metody geodezicheskogo kontrolya na primere opredeleniya vertikal'nosti elementov stroyashchegosya zdaniya [Modern methods of geodetic control by the example of determining the verticality of the elements of the building under construction] / A.V. Vdovenko, V.A. Vdovenko, P.I. Egorov [et al.] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2022. — № 6(120). — P. 26–31. [in Russian]
13. Mikhailov V.I. Optyt primeneniya elektronnogo takheometra dlya izmereniya vertikal'nosti sten [Experience in using an electronic total station for measuring the verticality of walls] / V.I. Mikhailov, S.I. Kononovich, Yu.N. Chiberkuch // Glavnnyy inzhener v stroitel'stve [Chief Engineer in Construction]. — 2013. — № 9. — P. 26–31. [in Russian]