СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 528

DOI:10.34708/GSTOU.2020.19.1.005

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИОННЫМИ И ОПОЛЗНЕВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

© Э. И. Ибрагимова, И. Г. Гайрабеков, А. Т. Мишиева

ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Деформация – это самая значимая характеристика вязко-упруго-пластических сред, которая подлежит контролю. Для организации такого контроля применяются высокоточные геодезические методы и средства измерений, которые находят свое применение в мониторинге деформаций зданий и иных инфраструктурных объектов. Таким образом, отслеживание различных воздействий на внешние нагрузки и деформаций играет ключевую роль в плане поддержания функционирования обозначенных объектов. В настоящей статье сделан обзор современных методов и приборов, которые используются с целью определения количественных характеристик деформаций. Благодаря разработке новейших приборов с современным программным обеспечением и появлению роботизированных станций, которые дают возможность без непосредственного участия человека выполнять измерения, работа инженеров становится более эффективной. Кроме того, в статье представлены базовые принципы геодезического мониторинга зданий и иных инфраструктурных объектов.

Ключевые слова: геодезическое наблюдение, деформация, мониторинг, перемещение.

Наблюдение за осадками и деформациями зданий и сооружений имеет огромное значение для определения прочности и устойчивости зданий и сооружений, а также для своевременного предотвращения их разрушения.

Здания и иные инфраструктурные объекты, по причине их конструктивных характеристик и влияния на эти объекты природных и техногенных воздействий, могут испытывать деформации, различные по своей природе, направленности и величине. В результате деформации происходит изменение положения объекта в пространстве. Если перемещение происходит вниз, то такая деформация называется осадкой. Если вверх, то в таком случае говорят о подъеме или выпирании (выпучивании). Если сила приложения деформации направлена в сторону, то данное изменение

называют сдвигом или горизонтальным смещением.

До проведения процесса мониторинга готового объекта составляют специальный проект, содержащий техническое задание, календарный план мониторинга, ключевые характеристики объекта, схему местонахождения деформационных марок и опорных геодезических пунктов, методы мониторинга, теоретический расчет измерений, перечень наблюдателей и смету на планируемые работы.

Одной из основных проблем современной геоэкологии является наблюдение за состоянием и стабильностью густонаселенных территорий, в то время как изучение процессов проникновения природной и технопрогенной природы в сейсмические районы, к которым относится Чеченская Республика, имеет реша-

ющее значение. В таких условиях прогнозирование оползней, их влияние на жилые районы и отрасли промышленности занимает первое место [3].

Для мониторинга эксплуатационного состояния зданий применяют комплексные натурные наблюдения, которые отслеживают изменения ключевых характеристик объекта. Такие наблюдения основываются на разных научно-практических способах и методах с применением тензометрии, динамометрии, акустики, вибрации, магнитометрии, радиации и геодезии [4].

Применение обозначенных способов и методов для получения точных характеристик исследуемого объекта – это достаточно трудно реализуемый инженерный проект. С целью его осуществления возводят специализированные измерительные комплексы, которые называются системами испытаний и долговременного контроля (ИДК). Система ИДК состоит из комплекса подсистем, каждая из которых мониторит те или иные характеристики текущего состояния объекта. Одной из таких подсистем является комплект геодезического контроля стабильности (ГКС) [5].

Геодезический контроль стабильности объекта подразделяется на 5 видов. В основе этого деления лежит характер деформаций и перемещений, используемые геодезические приборы и методики измерений, конструкция и размещение опорных сетей, деформационные марки комплекта ГКС. Перечислим эти виды:

- КС трещин – контроль трещин (КТ). Такой вид контроля используется в случаях, когда необходимо выяснить высоту и раскрытие трещин в исследуемом объекте;

- ГКС кренов – контроль кренов (КК). Используется для определения ключевых характеристик элементов, которые подвержены развороту вокруг оси ординат;

- ГКС азимутального положения – азимутальный контроль (АК). Данный вид контроля применяется при определении характеристик поворота объекта или его элементов вокруг оси ординат (производится определение азимутальных разворотов);

- ГКС планового положения – плановый контроль (ПК). ПК применяется, если имеют

место перемещения вдоль оси абсцисс (определение сдвигов);

- ГКС высотного положения – высотный контроль (ВК). Этот контроль используется при наличии перемещений объекта или его составных частей вдоль оси ординат (определение вертикальных деформаций) [5].

На данный момент электронные тахеометры (ЭТ) оснащены настолько, что дают возможность измерять углы поворота, превышения и расстояния, как по горизонтали, так и по вертикали. По сути ЭТ объединяет в себе теодолит, светодальномер с излучателем в виде полупроводника и микропроцессор или микрокомпьютер.

Действие тахеометра базируется на отражении лазерного пучка, имеющего узкую направленность, от отражающей цели, таким образом, производится измерение расстояния до этой цели. Зачастую отражатель – это специальная призма, которая жестко зафиксирована на поверхности объекта изучения. Для расчета трехмерных координат точки отражения измеряются величины горизонтального и вертикального угла. Важно отметить тот факт, что скорость измерения тахеометра не превышает 2 измерений в секунду. На сегодняшний день разработаны безотражательные тахеометры, что произвело настоящую революцию в геодезии, так как они выполняют все необходимые измерения без использования отражателя. Таким образом, при проведении измерения данным тахеометром луч отражается от абсолютно любой поверхности, даже не имеющей отражающих свойств.

Для построения отвесного лазерного луча или отвесной визирной оси широко применяются приборы вертикального проектирования. К подобным приборам также относятся разные, в том числе ротационные, лазерные установки. Для получения отвесного положения лазерный луч или визирная ось приводятся при использовании строительного уровня или оптико-механического стабилизатора. При наличии идеальных условий внешней среды оптический прибор вертикального проектирования дает возможность проводить измерения с точностью от 1 до 2 мм на 100 м. Точность лазерного прибора равняется порядка 5 мм на

100 м, а проектировочная дальность составляет от 600 м.

В процессе монтажа башни используется метод контроля ее вертикальности, который состоит в следующем. В опорной точке Р производят монтаж прибора вертикального проектирования. При этом опорная точка должна быть расположена на одной из осей (например ОС) на заданном расстоянии ОР от ортоцентра О треугольника АВС, который является основанием башни (рис. 1). Прибор вертикального проектирования дает возможность рассчитать расположение проекции точки Р на монтажный горизонт. Эта проекция обозначается точкой Р'. От нее находят расстояния Р'1, Р'2, Р'3, которые в дальнейшем сравниваются с их значениями, предусмотренные проектным решением. Для монтажного горизонта эти расстояния могут быть рассчитаны таким образом:

$$P'1 = \frac{ab}{2\sqrt{3}} - OP, P'2 = P'3 = \frac{1}{2}\left(\frac{ab}{\sqrt{3}} + OP\right), \quad (1)$$

где ав, вс, ас – длины сторон равностороннего треугольника на конкретном монтажном горизонте; ОР – константа.

Далее введем условную систему координат, в которой началом является ортоцентр О, а

ось абсцисс – это ось башни ОВ. Поэтому размер крена ОО' и румб γ , который определяет направление крена, можно рассчитать таким образом:

$$OO' = \sqrt{X^2 + Y^2}, \gamma = \arctg \frac{X}{Y} \quad (2)$$

Для расчетов величин, указанных в формуле (2), используют X и Y, выраженных таким образом:

$$X = \frac{OP}{2} + \frac{ab}{2\sqrt{3}} - P3Y = \\ = Pc \times \cos \beta - \frac{\sqrt{3}}{2} OP - \frac{ab}{2} \beta = \arcsin \frac{P3}{Pc} \quad (3)$$

Формула (2) дает возможность рассчитать величину румба γ , а знаки (+ или -) координат точек X и Y указывают направление наклона относительно оси ОВ, которая принимается за ось абсцисс.

Отметим тот факт, что на точность выноса опорных точек на горизонты монтажа влияет не только точность используемого прибора вертикального проектирования. На этот процесс также оказывают свое влияние нагрев Солнца, направление и сила ветра. Таким образом, проводя вынос опорных точек, обязательно нужно учитывать воздействие окружающей среды на исследуемый объект.

Рис. 1 Схема контроля вертикальности башни с помощью опорной точки Р

Рис. 3 Процесс выполнения работ по лазерному сканированию

спутников. Космический сегмент включает в себя созвездие спутников, которые передают данные о своем орбитальном положении.

Навигационные спутники позволяют определять координаты одним из трех методов [10]:

1. относительный, обеспечивающий одновременное выполнение обработки информации на опорном пункте и определяемом объекте. Данный метод предусматривает определение параметров вектора («вектор базовой линии»), который соединяет опорный пункт и определяемый объект;

2. дифференциальный, позволяющий организовать раздельную обработку измерений. Наблюдения производят не менее чем два приемника, один из которых размещен на опорном пункте с заданными координатами, а второй – на определяемом объекте. В таком случае по итогам измерений на опорном пункте получают поправки к параметрам наблюдений или координатам определяемого объекта. Данный метод позволяет получать информацию и принимать соответствующие решения в режиме реального времени;

3. абсолютный («точечное позиционирование»), координаты фиксирует единственный приемник в системе координат искусственного спутника Земли (ИСЗ) при помощи ведения записей положения приемника относительно КА с заданным положением.

Финальные и самые ответственные этапы проведения геодезических работ заключаются в геодезических измерениях расположения деформационных марок и обработке результатов измерений, которые позволяют нарисовать

полную картину перемещений и деформаций зданий и их составных элементов [5].

Для того чтобы организовать автоматический мониторинг оползневых процессов, необходимо применять геодезический метод контроля оползней, который базируется на использовании совокупности лазерных, оптических и электронных сканеров.

Главная причина оползней – это влияние поверхностных и грунтовых вод, меняющих силы грунтовых сцеплений и выводящих грунт из стабильного состояния. Другими словами, в первую очередь, явление оползня обусловлено выходом на поверхность водоносных горизонтов, которые смачивают склоны и вызывают скольжение делювиальных и элювиальных грунтовых масс по коренным породам [3].

Чтобы оценивать и прогнозировать воздействие оползня на здания и иные объекты инфраструктуры, необходимо получать множество характеристик этого оползня. С этой целью применяются разнообразные геодезические методики. Предусмотрено следующее деление этих методик (по виду, активности, направленности и скорости движения оползня):

- Высотные методики, которые используются исключительно для расчета вертикального смещения;
- пространственные (трехмерные) методики, позволяющие определять полные перемещения точек по трем координатам;
- плановые (двумерные) методики, применяются в случае, когда достаточно рассматривать перемещение оползневых точек в горизонтальной плоскости по двум координатам;

Рис. 4 Интерфейс пользователя ПО видеомониторинга

– осевые (одномерные) методики, когда достаточно определить перемещения точек вдоль или по одной прямой (одна координата).

Чтобы правильно рассчитать характеристики пространственного смещения оползневых точек, используют такие способы, как спутниковые приемники, сканирование лазером и фототопографическая съемка.

Если поверхность имеет ограниченную видимость, что приводит к невозможности применения спутников GPS/ГЛОНАСС, тогда для расчетов используется съемка электронными тахеометрами.

Определение величины смещения оползневых точек производится по отношению к опорным знакам, которые размещены на поверхности, на которую не воздействует оползень. Количество таких знаков непосредственно зависит от точности измерений и характеристик оползневого процесса.

Наблюдения за оползневыми процессами выполняются с периодичностью не реже 1 раза в год. Отметим, что увеличение частоты наблюдений непосредственно зависит от величины колебаний, вызванных оползнем [8].

Стоит отметить, что геодезические способы позволяют получить полную информацию о характеристиках деформируемого оползня, а негеодезические способы – только лишь локальную информацию, из которой не во всех

случаях возможно получить полную картину рассматриваемой ситуации.

Активизация оползней в Чеченской Республике ежегодно происходит в разных районах, часто сопровождается увеличением оползней в уже существующих оползнях – опасных районах и появлением новых оползней в ранее относительно стабильных районах.

Модуль метеорологического мониторинга и контроля сильных перемещений земной коры был заложен на базе части ПМ-5 в Грозном на территории Старопромысловского района. Модуль видеомониторинга был создан непосредственно на территории поселка Подгорный. Часть видеомониторинга была стационарной, которая была установлена в районе затонувшего склона на Сунженском хребте. Репер был отмечен, верхняя часть была окрашена в белый цвет с красной рамкой для оптимизации наблюдения в различных условиях и в темноте [3].

Все наблюдения воспроизводились на экран компьютера с помощью передачи изображения с установленных на склоне видеокамер.

Кинотеодолитом называется разновидность теодолита, которая предназначена для того, чтобы фиксировать траектории объектов, которые перемещаются как по земной поверхности, так и по воздуху. Такой метод наблю-

дения предусматривает прослеживаемость наблюдаемой траектории путем при помощи измерения угловых перемещений линии визирования на объект.

Самостоятельное использование метода кинотеодолита, конечно, возможно, но скорее относится к геологическим наблюдениям оползневого массива. В результате таких наблюдений возможно накопление материалов в течение нескольких лет, что позволит более подробно описать поведение оползневого тела в различных метеорологических и геофизических условиях.

Программное обеспечение позволяет оперативно отследить появление любого из индикаторов угрозы.

Появилась возможность разработки автоматизированного алгоритма регионального зонирования территорий по степени оползневой опасности, который будет включать полный и структурированный набор исходных данных, отражающих совокупность факторов образования оползней и методику на основе ГИС и нейронных сетей.

Описанные в настоящей статье геодезические методы должны массово применяться на практике при данных условиях местности. Все это может помочь в построении и распространении подходов создания картографических основ, которые создадут базу для прогнозирования деформаций, оползней и природных катаклизмов на земной поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т.
2. Гайрабеков И. Г., Яковлев В. В. Особенности проектирования геодезического обоснования комплексом спутниковых и оптико-электронных измерений // Изв. вузов. Северокавказский регион. Технические науки. Прил. к № 16. 2006. С. 145-148.
3. Ибрагимова Э. И., Гайрабеков И. Г., Мишинева А. Т., Ялмаева М. А., Муртазова Х. М.-С. Решение проблем оползнеопасных территорий с использованием геодезических методов // Международный симпозиум «Технические науки и науки о Земле: прикладные и фундаментальные исследования» (ISEES 2018) Комплексный научно-исследовательский институт Х. И. Ибрагимова. Грозный, 11-16 ноября 2018 г.
4. Интулов И. П. Инженерная геодезия / И. П. Интулов. Воронеж, 2006. 273 с.
5. Кузнецов О. Ф., Миронов Н. А. Определение деформаций инженерных сооружений и их элементов // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXVI Междунар. науч.-практ. конф. № 9 (22). Новосибирск: Сиб АК, 2013.
6. Лазерное сканирование. Каталог компании «Навгеоком», 2006.
7. Пастухов М. А., Сукманюк А. С. Геологические и гидрологические характеристики долины реки Малая Лаба // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2016. № 10. 60-69 с.
8. Пенсаков Г. И., Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Грибкова И. С. Применение данных дистанционного зондирования с целью рационального использования земель в Российской Федерации // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2016. № 10.
9. Thompson R. J., Van Oosterom P., Soen K. H. Mixed 2D and 3D Survey Plans with Topological Encoding [Электронный ресурс] // FIG Working Week 2016 Recovery from Disaster Christchurch. – New Zealand, May 2-6, 2016. Режим доступа: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_17.pdf
10. Шеховцов Г. А. Ступенчатый способ вертикального проектирования // Промышленное строительство. 1974. № 1. С. 43-44.
11. Шеховцов Г. А. Выбор способа вертикального проектирования // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1975. Вып. 21. С. 74-76.
12. Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений / Монография // Шеховцов Г. А., Шеховцова Р. П.; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. 156 с.

ANALYSIS OF MODERN GEODESIC METHODS FOR OBSERVING THE DEFORMATION AND LANDSCAPE PROCESSES

© E. I. Ibragimova, I. G. Gayrabekov, A. T. Mishieva

GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

Deformation is the most significant characteristic of visco-elastic-plastic media that is subject to control. For the organization of such control, high-precision geodetic methods and measurement tools are used, which are used in monitoring deformations of buildings and other infrastructure objects. Thus, tracking various impacts on external loads and deformations plays a key role in maintaining the functioning of designated objects. This article provides an overview of modern methods and devices that are used to determine the quantitative characteristics of deformations. Thanks to the development of the latest devices with modern software and the emergence of robotic stations that make it possible to perform measurements without direct human involvement, the work of engineers becomes more efficient. In addition, the article presents the basic principles of geodetic monitoring of buildings and other infrastructure objects.

Keywords: geodetic observation, deformation, monitoring, displacement

REFERENCES

1. Antonovich, K. M. Ispol'zovanie sputnikovyh radionavigacionnyh sistem v geodezii. V 2 t.
2. Gajrabekov, I. G. and Yakovlev, V. V. (2006) Osobennosti proektirovaniya geodezicheskogo obosnovaniya kompleksom sputnikovyh i optiko-elektronnyh izmerenij [Features of the design of geodetic justification by a complex of satellite and optoelectronic measurements] *Izv. vuzov. Severokavkazskij region. Tekhnicheskie nauki. Pril. k № 16*. Pp. 145-148.
3. Ibragimova, E. I., Gajrabekov, I. G., Mishieva, A. T., Yalmaeva, M. A. and Murtazova, Kh. M-S. (2018) 'Reshenie problem opolzneopasnyh territorij s ispol'zovaniem geodezicheskikh metodov'. *Mezhdunarodnyj simpozium «Tekhnicheskie nauki i nauki o Zemle: prikladnye i fundamental'nye issledovaniya» (ISEES 2018)* [International Symposium "Technical and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018) Complex Research Institute named after Kh. I. Ibragimov. Grozny, 11-16 November 2018.
4. Intulov, I. P. (2006) *Inzhenernaya geodeziya* [The engineering geodesy]. Voronezh, 273 p.
5. Kuznecov, O. F. and Mironov, N. A. (2006) 'Opredelenie deformacij inzhenernyh sooruzhenij i ih elementov' [Determination of deformations of engineering structures and their elements] *Tekhnicheskie nauki. -ot teorii k praktike: sb. st. po mater. XXVI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. № 9 (22)*. Novosibirsk: Sib AK, 2013.
6. (2006) *Lazernoe skanirovanie. Katalog kompanii «Navgeokom»*.
7. Pastuhov, M. A. and Sukmanyuk, A. S. (2016) 'Geologicheskie i gidrologicheskie harakteristiki doliny reki Malaya Laba' [Geological and hydrological characteristics of the Malaya Laba river valley. Scientific works of the Kuban State Technological University.] *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. № 10*. Pp. 60-69
8. Pensakov, G. I., Shevchenko, G. G., Gura, D. A. and Gribkova, I. S. (2016) 'Primenenie dannyh distancionnogo zondirovaniya s cel'yu racional'nogo ispol'zovaniya zemel' v Rossijskoj Federacii' [The use of remote sensing data for the rational use of land in the Russian Federation. Scientific works of the Kuban State Technological University] *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. № 10*.
9. Thompson, R. J., Van Oosterom, P. and Soon, K. H. (2016) 'Mixed 2D and 3D survey plans with topological encoding' [Elektronnyjresurs] '. FIG Working week 2016 recovery from

- disaster christchurch. New Zealand, May 2-6, 2016. Available at://www. gdmc. nl/3DCadastres/literature/3Dcad_2016_17. pdf
10. Shekhovcov, G. A. (1974) Stupenchatyj sposob vertikal'nogo proektirovaniya [Step way of vertical design] *Promyshlennoe stroitel'stvo*. № 1. Pp. 43-44;
 11. Shekhovcov, G. A. (1975) Vybor sposoba vertikal'nogo proektirovaniya [The choice of vertical design method] *Geodeziya, kartografiya i aerofotos''emka*. vyp. 21. Pp. 74-76.
 12. Shekhovcov, G. A. and Shekhovcova, R. P. (2009) Sovremennye geodezicheskie metody opredeleniya deformatsij inzhenernyh sooruzhenij. Monografiya. [Modern geodetic methods for determining the deformation of engineering structures. Monograph] Nizhegorod. gos. arhit.-stroit. un-t. N. Novgorod: NNSACU, p. 156.