

АНАЛИЗ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Дмитрий Олегович Григорьев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (960) 779- 73-79, e-mail: Grigorev17-09@mail.ru

Владислав Андреевич Ащеулов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (913) 457-22-37, e-mail: aceulov@mail.ru

Выполнен анализ существующих геодезических методов деформационного мониторинга гидротехнических сооружений. Сделан вывод о наиболее эффективных методах, намечены пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: геодезические методы, деформационный мониторинг, гидротехнические сооружения.

ANALYSIS OF GEODESIC METHODS OF DEFORMATION MONITORING OF HYDRAULIC STRUCTURES

Dmitry O. Grigoriev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo st., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: +7 (960) 779-73-79, e-mail: Grigorev17-09@mail.ru

Vladislav A. Ascheulov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo str., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: +7 (913) 457- 22-37, e-mail: aceulov@mail.ru

The analysis of existing geodesic methods of deformation monitoring of hydraulic structures is carried out. The conclusion about the most effective methods, and the ways of further research are outlined is made.

Key words: geodesic methods, deformation monitoring of hydrotechnical constructions.

Введение

В процессе эксплуатации инженерных сооружений требуется с определенной периодичностью проводить деформационный мониторинг, целью которого является выявление деформаций сооружений под влиянием различных факторов. Деформации в отношении инженерных сооружений подразделяются на 2 группы:

1. Вертикальные деформации (например, осадка опоры моста);
2. Горизонтальные деформации (смещение верха строительной конструкции от исходного положения).

Наблюдения за деформациями сооружений осуществляются геодезическими методами, которые, в свою очередь, подразделяются на следующие виды.

1. Методы измерения вертикальных деформаций [1]:

- а) геометрическое нивелирование;
- б) тригонометрическое нивелирование;
- в) гидростатическое нивелирование.

2. Методы измерения горизонтальных деформаций [1]:

- а) метод прямых и обратных отвесов;
- б) метод линейно-угловых построений;
- в) метод непрерывных GPS – наблюдений;
- г) метод створов;
- д) метод лазерного сканирования.

Особую значимость деформационный мониторинг приобретает, когда речь идет о сооружениях I и II уровней ответственности.

К сооружениям I и II уровней ответственности относятся здания и сооружения отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям (гидроэлектростанции, магистральные нефтепроводы и др.), а также жилые и общественные здания [2].

Актуальность исследований в области деформационного мониторинга гидротехнических сооружений, анализа их технического состояния и предотвращения аварийных ситуаций обуславливается происходящими время от времени случаями разрушения гидротехнических сооружений, приводящих к многочисленным человеческим жертвам и экономическими последствиями.

В статье приводится анализ существующих геодезических методов при проведении систематического деформационного мониторинга в период эксплуатации гидротехнических сооружений. Одним из главных гидротехнических сооружений является плотина, при эксплуатации которой деформационный мониторинг рекомендуется проводить не реже 1 – 2 раз в год [3].

Методы и материалы

Точность измерения деформации характеризуется средней квадратической погрешностью (СКП), которая для бетонных плотин на скальных основаниях равна: для осадки – 1 мм, для горизонтального перемещения – 1 мм [3, 4]. Добиться такой точности при определении деформаций гидротехнических сооружений возможно только при использовании высокоточных приборов и современных средств обработки данных, например, используя высокоточные электронные тахеометры и нивелиры, Глобальные Навигационные Спутниковые Системы (ГНСС), лазерные сканеры и др. [5].

Одним из наиболее точных геодезических методов определения осадки плотины является метод геометрического нивелирования. Суть метода заключается в определении превышений между реперными точками горизонтальным лучом нивелира [6]. Вокруг плотины прокладывают систему нивелирных ходов, исходные точки которых выбираются с учетом минимального воздействия

на них как самого сооружения, так и внешних факторов. Определяемые точки (осадочные марки) устанавливают по телу плотины и на ее гребне. Высокоточным нивелированием (I и II классов) определяют отметки исходных точек, а затем к ним привязывают осадочные марки, установленные в теле самой плотины. Разность отметок в каждом цикле дает представление о вертикальных деформациях сооружения. Точность геометрического нивелирования составляет 0,1 мм на 100 м.

Метод гидростатического нивелирования является так же одним из высокоточных методов наблюдения за осадкой сооружений. Данный метод работает на основе закона сообщающихся сосудов. На столбах плотины в продольных или поперечных галереях устанавливают горизонтальные трубы и соединяют их шлангами. Затем заполняют полученную систему жидкостью. Для определения осадок над трубами закрепляют специальные боковые осадочные марки с отверстиями для установки в них переносного микроизмерителя. Полученную систему привязывают к исходным реперам сети [1]. Точность гидростатического нивелирования составляет 0,2 мм между точками одной гидросистемы.

Метод тригонометрического нивелирования заключается в косвенном определении превышения через измерения угла наклона и расстояния от точки стояния прибора до определяемой точки. Используют такой метод в случаях, когда геометрическое нивелирование выполнить невозможно, т. е. на существенно разных превышениях между точками [7]. Точность тригонометрического нивелирования на порядок хуже, чем геометрического, это вызвано тем, что при геометрическом нивелировании превышение между точками находится как разность отсчетов по рейкам, а в тригонометрическом нивелировании превышение зависит от качества измерения угла наклона и горизонтального расстояния.

При определении горизонтальных перемещений наиболее распространенными среди этой группы геодезических методов являются: створный метод, метод линейно-угловых построений (классические методы), метод непрерывных ГНСС наблюдений [8].

Сущность створного метода заключается в том, что горизонтальные перемещения плотины определяют по направлению перпендикулярному створу. При реализации этого метода на одной оси закрепляют исходные геодезические пункты и определяемые (контрольные) точки в плотине. Перемещение определяемых точек в направлении, перпендикулярном оси на которой расположены исходные геодезические пункты находят посредством измерения малых углов на каждую определяемую точку. В результате решения простого треугольника вычисляют вертикальный катет, являющийся горизонтальным перемещением каждой контрольной точки.

Метод линейно-угловых построений основан на создании цепи треугольников (триангуляция) и измерения расстояний в таких треугольниках. Исходные пункты в данном методе выбирают за пределами самого сооружения, а определяемые пункты расположены в теле плотины или на ее гребне. Путем измерения углов и контрольных расстояний по результатам каждого цикла наблюдений, определяют горизонтальные смещения плотины.

Метод непрерывных ГНСС наблюдений основан на том, что в теле плотины и на бортах русла реки устанавливаются ГНСС приемники, при этом приемники, установленные на бортах русла реки, являются базовыми (опорными) станциями [9]. Приемники, расположенные в теле плотины и на ее гребне, получая сигналы от спутников и базовых станций, в любой момент времени имеют свои фиксированные координаты в заданной системе координат. По разностям координат, полученных в разные моменты времени, определяют горизонтальные перемещения тела плотины и ее осадку. Следует отметить, что при использовании непрерывных ГНСС наблюдений возникает проблема метрологической поверки ГНСС приемников, расположенных в теле плотины [9].

Метод наземного лазерного сканирования заключается в создании цифровой модели окружающего пространства, представляющим его набором точек, каждая из которых имеет три координаты [10]. При постоянном мониторинге деформации тела плотины определяются разностью координат начального и фактического периодов.

Заключение

В заключение можно отметить, что наиболее распространенными методами для определения осадок гидротехнических сооружений являются метод геометрического нивелирования и метод гидростатического нивелирования, так как они дают высокую точность результатов измерений. Метод наземного лазерного сканирования, дающий точность в среднем от 1 до 10 мм в плане и по высоте является продуктивным, но из-за высокой стоимости геодезического оборудования и выполнения работ непосредственно на объекте является затратным с экономической точки зрения.

Метод непрерывных ГНСС наблюдений с использованием спутниковой аппаратуры представляет наибольший интерес, так как он совмещает результаты, по которым можно определить значения горизонтальных и вертикальных деформаций гидротехнических сооружений, не требует полевых работ, так как ГНСС приемники, установленные в теле плотины, работают автономно, получение данных с приемников и все пост-обработка ведется в камеральных условиях. Точность определения координат в плане составляет 2–3 мм, по высоте – 5 мм, что является близкими значениями к требованиям ГОСТ [2].

На основании сделанного в настоящей работе анализа в дальнейшем предполагается продолжить исследования в области совершенствования методов деформационного мониторинга гидротехнических сооружений и, в первую очередь, использования ГНСС наблюдений, точность которых с каждым годом возрастает. Следует, на наш взгляд, обратить внимание на проблему деформационного мониторинга таких гидротехнических сооружений, как насыпные дамбы. Случающиеся время от времени прорывы таких сооружений нередко приводят к человеческим жертвам, а также к тяжелым экономическим последствиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П 83-2001 Рекомендации по анализу данных и проведению натурных наблюдений за осадками и горизонтальными смещениями бетонных плотин Санкт-Петербург 2001. – 13 с.
2. ГОСТ 27751-88 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету (с Изменением N 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001415>.
3. П 648 Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293816/4293816091.htm>.
4. СП 126.13330.2017 Геодезические работы в строительстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/550965720>.
5. Скрипников, В. А. Геодезические наблюдения за горизонтальными смещениями плотин / В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 10–13.
6. Букша, У.А. Геодезия : лаб. практикум / У. А. Букша, В. В. Букша ; М-во образования и науки РФ, Урал.федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. Ун-та, 2018. – 76 с.
7. Марфенко, С.В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений : учеб. пособие. М. МИИГАиК, 2004. – 36 с.
8. Шеховцов, Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений [Текст]: монография; / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т –Н.Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.
9. Карпик, А.П. Методика метрологической поверки ГНСС-приемников системы мониторинга высоконапорной ГЭС / А.П. Карпик, Н.С. Косарев, К.М. Антонович, А.П. Решетов, А.В. Устинов // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Вып. 4 (24). – С. 34-43.
10. Б.Ф. Азаров Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений // Ползуновский вестник. – 2011. – Вып. 1. – С. 19-29.

© Д. О. Григорьев, В. А. Ащеулов, 2020