

Геодезический мониторинг состояния ограждающей дамбы № 1 золоотвала ТОО «ГРЭС Топар» по методике наземного лазерного сканирования

Р. Р. Ханнанов^{1}, А. В. Михнев²*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан

* e-mail: khannanov_rustem@mail.ru

Аннотация. Для определения состояния устойчивости ограждающей дамбы № 1 золоотвала ТОО «ГРЭС Топар» был разработан проект геодезического мониторинга. Методика проведения геодезических наблюдений основана на применении наземного лазерного сканирования. На локальном участке дамбы была заложена наблюдательная станция, которая состоит из 3 опорных реперов и 5 рабочих реперов. Определение смещений производится расчетом векторного расстояния от опорного репера до каждого рабочего репера. И таким образом векторное расстояние определяется от каждого опорного репера. Для контроля была проведена тахеометрическая съемка, сделанная в безотражательном режиме. Сходимость результатов не превысила 2 мм. Геодезический мониторинг состоял из трех серий наблюдений. По полученным данным было выявлено устойчивое состояние гидротехнического сооружения.

Ключевые слова: дамба, геодезический мониторинг, наземное лазерное сканирование, векторное расстояние

Survey monitoring of the enclosing dam № 1 of the «GRES Topar» LLP ash dump by the terrestrial laser scanning method

R. R. Khannanov^{1}, A. V. Mikhnev²*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan

* e-mail: khannanov_rustem@mail.ru

Abstract. To determine the state of stability of the enclosing dam №1 of the ash dump of «GRES Topar» LLP, a geodetic monitoring project was developed. The methodology of geodetic observations is based on the use of ground-based laser scanning. An observation station was laid on the local section of the dam, which consists of 3 reference points and 5 working reference points. The displacement is determined by calculating the vector distance from the reference point to each working reference point. The vector distance is determined from each reference point in the same way. For control, a total station survey was carried out, made in non-reflective mode. The convergence of the results did not exceed 2 mm. Geodetic monitoring consisted of 3 series of observations. According to the data obtained, the stable condition of the hydraulic structure was revealed.

Keywords: dam, survey monitoring, terrestrial laser scanning, vector distance

Введение

Насыпные гидротехнические сооружения относятся к сооружениям стратегической важности, так как чрезвычайные ситуации (прорывы плотин или ограждающих дамб хвостохранилищ) приводят к масштабным последствиям. Эти события наносят огромный ущерб предприятиям, сельскому хозяйству, дорожному, жилищно-коммунальному хозяйству и населению. В связи с этим гидротехнические сооружения золоотвала ТОО «ГРЭС Топар», как объекты стратегической важности, подвергаются периодическому (не реже одного раза в пять лет) комплексному мониторингу, в том числе геодезическому [1].

Для выполнения геодезического мониторинга за устойчивостью откосов и основания ограждающих дамб проектируются специальные наблюдательные станции. На этих станциях проводятся инструментальные наблюдения. Наблюдательные станции состоят из профильных линий, по которым расположены опорные и рабочие реперы.

Производство геодезических исследований в рамках научно-исследовательской работы ограждающих гидротехнических сооружений позволяет своевременно выявить возникшие деформации, оценить устойчивость дамб и разработать мероприятия для предотвращения аварийных ситуаций.

Методы и материалы

Для наблюдения за состоянием ограждающей дамбы № 1 золоотвала ТОО «Главная распределительная энергостанция Топар» в рамках научно-исследовательской работы специалистами Карагандинского технического университета был разработан проект наблюдательной станции (рис. 1), составленный на основе анализа особенностей геологического строения тела дамбы и его основания, гидрогеологических и геотехнических исследований, современного состояния и технических решений по наращиванию ограждающих дамб золоотвала.

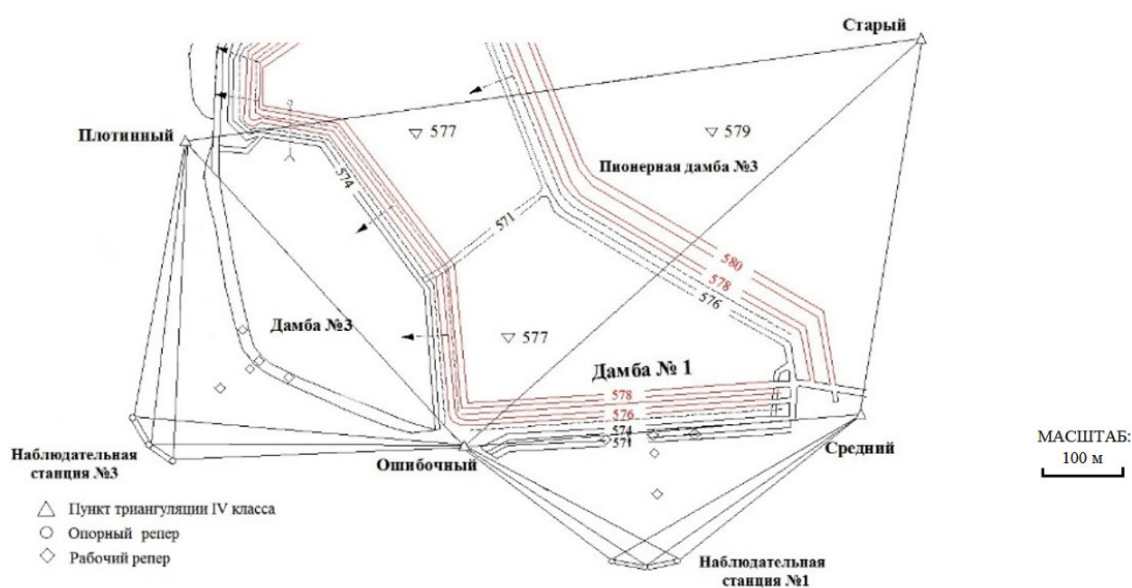


Рис. 1. План наблюдательных станций на золоотвале ТОО «ГРЭС Топар»

Методика проведения систематических геодезических наблюдений заключается в том, что измерения выполняются методом наземного лазерного сканирования, и для каждой наблюдательной станции достаточно создать двойной базис из трех опорных реперов, закрепленных в устойчивом месте с хорошей видимостью на все рабочие репера.

Согласно проекту геодезического мониторинга ограждающей дамбы № 1 зооотвала, наблюдательная станция должна состоять не менее чем из 3 опорных пунктов и определенного количества рабочих реперов, которое уже зависит от технических характеристик дамбы, состояния устойчивости основания дамбы, наличие воды у основания дамбы. При создании наблюдательной станции было решено заложить 5 рабочих реперов, из которых 2 репера (T2, T3) размещались в основании дамбы, 3 других (T1P, T1, T1L) были заложены в гребне дамбы (рис. 2).

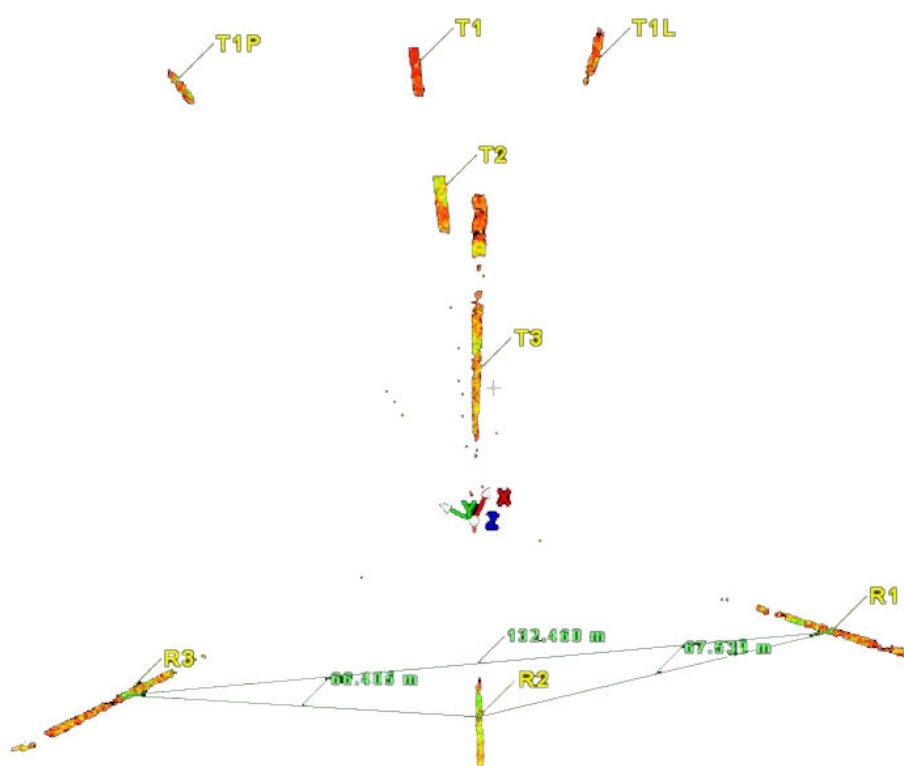


Рис. 2. Расположение опорных и рабочих реперов наблюдательной станции дамбы № 1

После разбивки наблюдательных станций и закладки опорных и рабочих реперов производится выбор установки наземной сканирующей системы. В качестве наземной сканирующей системы использовался наземный лазерный сканер Leica Scan Station 2, который относится к типу архитектурных сканеров и характеризуется среднеквадратической ошибкой сканирования поверхностей в 2 мм на 100 м [2, 3].

Основным требованием установки НЛС является то, чтобы в поле сканирования попали опорные и рабочие репера, а также окружающая ситуация с минимальными участками мертвых зон. В данном случае существенным достоинством выбора станции наземной сканирующей системы является то, что прибор возможно установить в любом месте без привязки к определённой локации, так как полученные «облака» точек будут регистрироваться относительно опорных реперов, которые уже расположены в местной системе координат. В данном случае ориентирование прибора необязательно [4].

После того, как заложены опорные пункты и рабочие репера, выбрана станция для сканирования, необходимо произвести сканирование, которое состоит из нескольких этапов:

- определение координат центров сканерных марок, которые устанавливаются и фиксируются в неизменное положение на заложенных реперах;
- сканирование прилегающей территории и объекта. Если сканер снабжен цифровой камерой, то выполняется также цифровая съёмка;
- распознавание и определение приближенных координат центров сканерных марок с целью последующего детального определения области их положения на скане. В зависимости от модели сканера, эти операции выполняются либо по полученному скану, либо по цифровому снимку, если сканер оснащен цифровой камерой;
- сканирование специальных марок с максимальным разрешением, что позволяет с предельно возможной точностью для данной модели сканера определять их координаты в системе координат скана.

Данный процесс сканирования производится на каждой «свободной» станции сканера. По проекту проведения геодезического мониторинга было произведено сканирование с двух станций. Одна станция располагалась у основания дамбы, а вторая на гребне дамбы. Вторая станция, которая находилась на гребне дамбы, являлась дополнительной станцией лазерного сканера, была предназначена для сбора пространственных данных. Полученные данные использовались для создания цифровой модели ограждающих дамб. Полученные цифровые модели применялись для визуализации тела дамбы, а также для расчета устойчивости насыпного гидротехнического сооружения [5, 6].

Для регистрации сканов в единое «облако» точек, необходимо чтобы у двух сканов было, как минимум, 3 общих марки. Именно для этого на гребне дамбы были заложены 3 рабочих репера: 1 репер – основной, в створе профильной линии; 2 репера – дополнительных, предназначенных для регистрации «облаков» точек.

Результаты и выводы

Для контроля и определения средней ошибки определения координат марок были проведены измерения по исходным опорным и рабочим реперам высокоточным электронным тахеометром в безотражательном режиме. После этого был проведен анализ пространственных данных, полученных двумя методами измерений. Анализ проводился в ПО Leica Cyclone. Суть анализа данных заключается в следующем:

– в программное обеспечение импортируются данные, полученные НЛС в формате «облака» точек с уже определенными координатами центров марок, и данные, полученные электронным тахеометром;

– после того, как подгружены все исходные данные (сканы, точки) в модуле Register задается процесс регистрации скана и данных с тахеометра в единую аналитическую модель. После завершения регистрации предоставляется статистика, которая показывает, по каким маркам производился анализ пространственных данных, а также средняя ошибка определения координат по каждой марке (рис. 4). Средняя ошибка определения координат центров марок составила 2 мм.

✘ T3	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.000, 0.001) m
✘ R1	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.007, 0.001) m
✘ R2	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, 0.000, 0.000) m
✘ T1	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, 0.000) m
✘ T1L	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.001, -0.001) m
✘ T1P	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, -0.001) m
✘ R3	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.002, 0.002, 0.000) m
✘ T2	ScanWorld 1 (...)	161021 for cy...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.002, 0.001) m

Рис. 4. Определение общей ошибки и векторной ошибки определения координат по каждой сканерной марке

Методика определения смещений производится по принципу расчета векторного расстояния от опорного до рабочего репера и сравнивается между каждым циклом измерений. В программе Leica Cyclone эта функция выполняется по определенному алгоритму, который позволяет исполнителю мгновенно получить данные. Наклонное расстояние в программном обеспечении рассчитывается по математической формуле:

$$d_{OP1-T1} = \sqrt{(x_{T1} - x_{OP1})^2 + (y_{T1} - y_{OP1})^2 + (z_{T1} - z_{OP1})^2} \quad (1)$$

где x_{T1}, y_{T1}, z_{T1} – координаты рабочего репера T1;

$x_{OP1}, y_{OP1}, z_{OP1}$ – координаты опорного репера R1.

По данной методике было проведено 3 цикла наблюдений. По полученным данным из 3 серий наблюдений видно, что никаких смещений и деформаций тела дамбы № 1 не наблюдается (табл. 1), так как динамика увеличения векторных расстояний отсутствует.

По полученным результатам определяется хорошая сходимость полученных данных между циклами наблюдений за насыпным гидротехническим сооружением. Наибольшая разница между результатами составила 3 мм. Данная ошибка измерений связана с ошибкой центрирования и ориентирования прибора, а также установкой сканерной марки на рабочий репер. Следовательно, данная методика геодезических измерений может быть применима при наблюдениях за ограждающими дамбами и плотинами.

Результаты трех серий лазерного сканирования ограждающей дамбы № 1

Опорные репера	Рабочие репера	Векторное расстояние, м		
		25.05.2021	07.07.2022	21.08.2022
1	2	3	4	5
R1	T1	131,461	131,463	131,462
	T1P	160,004	160,006	160,004
	T1L	115,197	115,199	115,199
	T2	110,019	110,018	110,020
	T3	82,022	82,024	82,025
R2	T1	122,676	122,673	122,675
	T1P	131,969	131,968	131,970
	T1L	124,065	124,066	124,063
	T2	98,484	98,486	98,483
	T3	64,070	64,071	64,069
R3	T1	130,106	130,108	130,106
	T1P	115,743	115,746	115,744
	T1L	147,180	147,177	147,179
	T2	111,115	111,114	111,116
	T3	88,894	88,895	88,895
R1	R2	67,539	67,540	67,539
R2	R3	66,405	66,406	66,406
R1	R3	132,460	132,458	132,459

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. – Введен 17.06.2020. – Москва: Стандартинформ, 2020.
2. Leica ScanStation 2. Руководство по применению. – Heerbrugg: Leica Geosystems AG, 2007. – 120 с.
3. В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. Наземное лазерное сканирование: монография – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
4. Грунин А. Г. Наземная лазерная сканирующая система – ILLRIS 3D [Текст] / А. Г. Грунин // Геопрофи. – 2003. – № 2. – С. 30–31.
5. Елисеев С. В. Геодезические инструменты и приборы. Основы расчета, конструкции и особенности изготовления [Текст] / С.В. Елисеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1973. – 392 с.
6. Комиссаров, А.В. Исследование точности наземных лазерных сканеров [Текст] / А.В. Комиссаров // Соврем. проблемы техн. наук: сб. тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. студен. конф. «Интеллектуальный потенциал Сибири». Ч. 3. – Новосибирск, 2004. – 104 с.

© Р. Р. Ханнанов, А. В. Михнев, 2022