

Методология мониторинга плотин в течение их жизненного цикла в республике ирак на основе цифровых методов инженерных изысканий и информационного моделирования

УДК 69.058.2

Хайдар А. Н. Аль-Дами:

Доцент, Ирак, Университет Аль-Кадисия, Инженерный колледж, Факультет дорог и транспортного машиностроения, аспирант НИУ МГСУ
e-mail: Aldami.haidar@gmail.com

М. М. Железнов:

Д.т.н., профессор кафедры «Информационные системы, технология и автоматизация строительства», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (г. Москва);
e-mail: ZheleznovMM@mgsu.ru

Аннотация: Сооружения с большой массой (плотины) подвергаются воздействию внутренних и внешних природно-техногенных факторов негативно влияющих, как на элементы конструкции, так и на весь инфраструктурный объект. Воздействие приводит к нестабильности геометрических параметров строительного объекта и относительным смещениям его частей. Мониторинг и измерение параметров этого движения за определенные периоды времени дает специалистам четкое представление о характере изменений. Проведенное исследование позволило разработать технические рекомендации по проведению точных исследований структурной деформации плотин и гидравлических систем защиты от наводнений. Были определены стандарты точности, процедур и контроля качества для мониторинга перемещений в гидротехнических сооружениях.

Ключевые слова: Управление жизненным циклом, плотины, ГИС, GPS, тахеометры и уровни

Введение:

Плотины, насыпи и другие противопаводковые сооружения подвержены внешним нагрузкам, вызывающим деформацию и протечки, как самих сооружений, так и их оснований. Появление признаков деформации говорит о возникновении существенной угрозы безопасности конструкции [1]. Мониторинг нагрузок на конструкцию и ее реакцию на них может помочь в определении ненормального поведения этой конструкции. В целом мониторинг состоит как из измерений, так и из визуальных осмотров [2]. Для облегчения наблюдения за гидротехническими сооружениями они должны быть постоянно оборудованы соответствующими контрольно-измерительными приборами и/или пунктами наблюдения в соответствии с целями наблюдения, типом и размером сооружения, а также условиями площадки. Должно быть интуитивно понятно, что деформации и периодические наблюдения будут варьироваться в зависимости от типа конструкции [3,4,5]. Поэтому

METHODOLOGY FOR MONITORING DAMS DURING THEIR LIFE CYCLE IN THE REPUBLIC OF IRAQ BASED ON DIGITAL METHODS OF ENGINEERING SURVEYS AND INFORMATION MODELING

HAIDAR A. N. AL-DAMI:

Associate Professor, Al Qadisiyah University, College of Engineering, Faculty of Roads and Transport Engineering, PhD student at Moscow State University of Civil Engineering.
e-mail: Aldami.haidar@gmail.com

M. M. ZHELEZNOV:

Doctor of engineering, Professor of the Department of Information Systems, Technology and Automation of Construction; National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russia; e-mail: ZheleznovMM@yandex.ru

Abstract: Structures with a large mass (dams) are exposed to internal and external natural and man-made factors that negatively affect both structural elements and the entire infrastructure facility. The impact leads to the instability of the geometric parameters of the building object and the relative displacements of its parts. Monitoring and measuring the parameters of this movement over certain periods of time gives specialists a clear idea of the nature of the changes. The above study allowed the development of technical recommendations for conducting accurate studies of the structural deformation of dams and hydraulic flood protection systems. Standards for accuracy, procedures and quality control have been defined for monitoring movements in hydraulic structures.

Keywords: Life cycle management, dams, GIS, GPS, total stations and levels

периодические наблюдения обычно ведутся за относительно долгосрочными тенденциями движения. Обычных методов геодезической съемки с внешних точек и с точностью до сантиметра достаточно для отслеживания этих долгосрочных тенденций. Реже требуются наблюдения за кратковременными отклонениями или относительными перемещениями между монолитными конструкциями из-за изменения температуры или гидравлической нагрузки. Они могут включать измерения трещин или относительные перемещения между монолитными конструкциями при различных гидравлических нагрузках. Относительные отклонения перемещения до уровня точности $\pm 0,254$ мм являются обычным явлением [3,6,7]. Долгосрочный мониторинг движения конструкции обычно требует наблюдения за реперами на конструкции с внешних опорных точек. Эти внешние ориентиры устанавливаются на устойчивом грунте, удаленном от сооружения и вне зоны взаимного влияния с исследуемым объектом. Эти внешние опорные точки взаимосвязаны и называются «эталонной сетью». Эталонная сеть также должна контролироваться с более редкими интервалами, чтобы убедиться, что эти опорные точки сами по себе не перемещаются. Аппаратура GPS/ГЛОНАСС и традиционные инструменты и методы геодезической съемки могут использоваться для установления и мониторинга опорных точек сети [8,9].

Методы исследования деформации:

Общие процедуры наблюдения за деформацией конструкции и ее основания включают измерение пространственного смещения выбранных точек объекта (реперов) от внешних опорных точек, которые зафиксированы в положении. Для измерения этих геопространственных смещений используются как наземные, так и спутниковые методы [10]. При расположении опорных точек в конструкции определяется только относительная деформация. Абсолютная деформация или смещение возможны, если реперные точки расположены вне фактической конструкции, в фундаменте или окружающем рельефе и за пределами зоны, на которую может воздействовать плотина или водохранилище [11,12]. Фиксированные контрольные точки, расположенные в непосредственной близости от плотины, но за пределами зоны ее воздействия, необходимы для определения деформационного поведения конструкции. Таким образом, сети мониторинга в плоскости плотины должны быть дополнены и связаны с сетями триангуляции и вертикального контроля [13].

Управление жизненным циклом объекта:

Исследования по оценке структурной устойчивости необходимы на протяжении всего жизненного цикла проекта, во многих случаях охватывающего десятилетия. На ранних этапах планирования проекта следует разработать комплексный план мониторинга, в котором учитываются требования к обследованиям на протяжении всего жизненного цикла проекта с целью устранения дублирующих или избыточных обследований в максимально возможной степени [14,15].

Требования к точности выполнения замеров деформации бетонных конструкций плотин:

В Таблице 1 показаны приблизительные требования к точности для проведения исследований деформаций. Они представляют либо абсолютную, либо относительную точность измерения реперов, которая должна быть достигнута на основе наблюдений из внешних опорных точек. Она должна превышать точность, с которой периодически генерируется и контролируется внешняя эталонная сеть [8,16,17].

Методология мониторинга:

Каждое контролируемое сооружение должно иметь технический паспорт, содержащий актуальную информацию об объекте и данные обследований. При этом должна быть описана методика типового обследования (мониторинга), содержащая информацию о конструкции прибора и/или карту обследования, документирующую план мониторинга и предполагаемые характеристики. Должны быть разработаны схема измерений для конкретного проекта и рабочие процедуры для системы мониторинга, как показано на рисунке 1.



Рис.1. Методология

Требования к точности целевой конструкции для проведения изысканий по расчету деформаций бетонных плотин.

№	Тип мониторинга	Требования к точности для целевых точек	Среднеквадратичное значение
1	Долгосрочное движение	$\pm 5-10$ мм	95%
2	Относительные краткосрочные отклонения (в том числе контроль трещин и др.)	± 0.2 мм	95%
3	Вертикальная устойчивость/осадка	± 2 мм	95%

Проект опорных сетей:

Наличие нескольких контрольных станций в эталонной сети имеет решающее значение для повышения надежности съемок деформации и для проверки стабильности эталонных параметров во времени. Геометрию и надежность эталонной сети можно улучшить, добавив станции управления вверх или вниз по течению сверху [18].

Глобальная система позиционирования (GPS):

Спутниковая система глобального позиционирования предлагает преимущества по сравнению с обычными наземными методами. Взаимная видимость между станциями не является строго обязательной, что обеспечивает большую гибкость при выборе местоположения станций, чем при наземных геодезических съемках [21]. Измерения можно проводить ночью или днем, при различных погодных условиях, что делает GPS-измерения экономичными, особенно когда во время съемки на конструкции можно разместить несколько приемников. Благодаря недавно разработанным методам быстрого статического позиционирования время измерений сокращается до нескольких минут [22].

Дифференциальное нивелирование:

Дифференциальное выравнивание обеспечивает измерение разницы высот между рядом реперных точек. Вертикальное положение определяется с очень высокой точностью (± 1 мм) на коротких расстояниях (10-100 метров) с использованием прецизионных уровней. Двумя основными классами прецизионных уровней, обычно используемых для измерения деформации, являются автоматические уровни и цифровые уровни [23,24].

Тахеометр и тригонометрические отметки:

Высокоточные электронные теодолиты и оборудование позволяют заменить геодезическую нивелировку более экономичными тригонометрическими измерениями высоты. Точность лучше 1 мм может

быть достигнута при определении разницы высот между двумя целями, находящимися на расстоянии 200 м друг от друга, с использованием прецизионных электронных теодолитов для измерения вертикального угла и прибора EDM. Измерения должны выполняться либо взаимно, двумя теодолитами одновременно, либо с вспомогательной станции на равном расстоянии от двух целей, чтобы свести к минимуму влияние атмосферной рефракции [25].

Анализ данных:

Геометрическое моделирование используется для анализа пространственных перемещений. Общие тренды движения описываются с помощью достаточного количества дискретных перемещений точек (dn):

$$dn(\Delta x, \Delta y, \Delta z) \dots (1), n = \text{номер точки}$$

Смещения точек рассчитываются путем разности скорректированных координат для самой последней съемочной кампании (f) от координат, полученных в какой-то контрольный момент времени (i), например:

$$\Delta x = x_f - x_i \dots (2), \text{ смещение по координате } x$$

$$\Delta y = y_f - y_i \dots (3), \text{ смещение координаты } y$$

$$\Delta z = z_f - z_i \dots (4), \text{ смещение по координате } z.$$

$$\Delta t = t_f - t_i \dots (5), \text{ разность во времени между съемками.}$$

Сравнение величины рассчитанного смещения и связанной с ним точности съемки показывает, является ли сообщаемое движение более вероятным из-за ошибки съемки:

$$|dn| < (\epsilon n) \dots (6), |dn| \text{ для точки } n - \text{ величина смещения}$$

$$|dn| = \sqrt{(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)} \dots (7)$$

$(\epsilon n) = (1.96) \sqrt{(f^2 + i^2)} \dots (8), f = \text{стандартная ошибка положения для (последней) или самой последней съемки, } i = \text{стандартная ошибка положения для (начальной) или эталонной съемки [23,24,26].}$

Форма мониторинга с помощью тахеометра									
Дата									
Время		начало			конец				
температура		начало			конец				
Погодные условия		облачно			солнечно				
повторения		≥ 4							
Точность считывания		$\geq 1''$							
Закрытие горизонта		угол между задней и передней точками							
Среднее значение		Для каждого просматриваемого направления в наборе							
невязка горизонта		$W = 360^\circ - (\beta_d + \beta_c)$							
средний прямой угол		β_d							
средний угол закрытия		β_c							
Коррекция закрытия		$W/2$							
НАБОР 1: Прямой					НАБОР 1: Закрытие				
точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный	точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный
1					1				
2					2				
Приведенное среднее значение					Приведенное среднее значение				
НАБОР 2: Прямой					НАБОР 2: Закрытие				
точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный	точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный
1					1				
2					2				
Приведенное среднее значение					Приведенное среднее значение				
НАБОР 3: Прямой					НАБОР 3: Закрытие				
точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный	точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный
1					1				
2					2				
Приведенное среднее значение					Приведенное среднее значение				
НАБОР 4: Прямой					НАБОР 4: Закрытие				
точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный	точка	FL	FR	среднее	Уменьшенный
1					1				
2					2				
Приведенное среднее значение					Приведенное среднее значение				
Результат:									
Прямое среднее значение									
Закрытие Среднее значение									
Ошибка= $W = 360^\circ - (\beta_d + \beta_c)$									
Значение закрытия горизонта									
Коррекция закрытия									
Окончательное значение прямого угла									
Окончательное значение угла закрытия									

Рис.2. Предлагаемая форма точек, контролируемых тахеометром.

Наблюдения за углом и расстоянием:

При проведении процесса мониторинга с использованием традиционных методов съемки (тахеометры и уровни) есть некоторая информация, которая должна быть предоставлена и подтверждена в формах мониторинга геодезистами, как показано ниже.

Наблюдения за углом и направлением. как показано в предложенной форме на рисунке 2.

2 - Контролировать уровни. как показано в предложенной форме на рисунке 3.

Исследовательский случай:

1- Рабочий сайт: Плотина Аль-Шамия расположена к северу от города Аль-Шамия в провинции Эль-Дивания. Это один из четырех регуляторов на реке Евфрат между городом Кифл и городом Шамия.

2- Важность изучения: Изучение и оценка движения изучаемой плотины и окружающих ее территорий, а также определение объемов и тенденций этих движений в четырех измерениях (X, Y, Z и время) путем слияния традиционных методов съемки и GPS. Особенно после появления трещин в окружающем его грунте и наблюдения подвижек в некоторых швах и краях трещин.

Форма контроля уровня					
Дата					
Время	начало				конец
температура	начало				конец
Погодные условия	облачно				солнечно
Серийный номер инструмента					
Серийный номер линейки					
Требования к закрытию.	$\leq \pm 3$ мм на Км				Примечания
Требования к закрытию.	$\leq \pm 1$ мм менее Км				
Точность табуляции	≈ 0.0001				
Дополнительная обработка.	Метод наименьших квадратов				
номер станции	ВС	IN	FC	HI	уровень
	$\sum BC =$		$\sum FC =$		
$\sum BC - \sum FC =$ Пер. уров. - пос. уров. =					
Калибровка устройства	Установка будет наблюдаться повторно, если расхождение между отметками левой и правой стороны шкалы на любом стержне превышает 0,25 миллиметра для этой установки.				

Рис. 3. Предлагаемая форма точек, контролируемых уровни

3- Работа на месте: Область исследования была определена, а основные опорные точки сети и сеть точек на теле плотины были установлены на основе спутникового снимка и программы ГИС, как показано на рисунке 4.

4- Обсуждение результатов наблюдений: При ежемесячном мониторинге в точках (6, 7, 9, 10, 19 и 24) наблюдалось четкое движение, величина движения в вертикальном направлении колебалась от -2 до +3 мм (вниз и вверх) а также Наличие движения в горизонтальном направлении в обоих направлениях (x и y) в точках (6, 7, 9, 10, 23 и 24) величина этого движения в направлении x колеблется в пределах +2 до +12 мм, а по оси Y от -4 до 15 мм. Уравнения с 1 по 8 были применены к точкам, которые показали

наличие движения во время операций мониторинга, чтобы узнать и убедиться, что эти наблюдаемые значения являются результатом фактического движения плотины или они являются результатом ошибок в расчетах. процесс мониторинга, как показано в Таблице 2.

Заключение:

Исследование показало технические рекомендации по проведению точных исследований структурной деформации плотин и гидравлических систем защиты от наводнений. Где определены стандарты точности, процедур и контроля качества для мониторинга перемещений в гидротехнических сооружениях.

Для того чтобы мониторинг был успешным, а полученные от него данные точными, основное внимание должно быть уделено техническим процедурам проведения точных мониторинговых обследований и периодических проверок. В исследовании были представлены общие стандарты планирования, процедуры реализации на местах и в офисе, методы сокращения данных, методы модификации и требования к точности, необходимые для проведения исследований деформаций конструкций. Начиная с

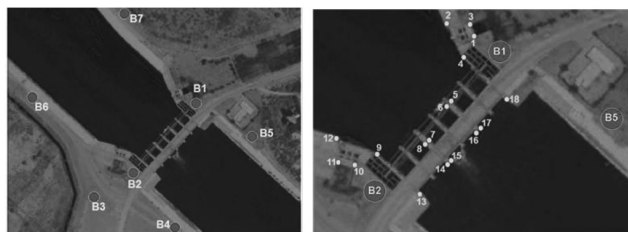


Рис. 4. Сеть основных контрольных точек, и Сеть контрольных точек на теле плотины.

На нем показаны значения, полученные путем применения уравнений с 1 по 8 к точкам, показавшим движение во время наблюдений.

станция	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>d hor</i>	<i>e hor.</i>	<i>d ver</i>	<i>e ver.</i>
6	0.0015	0.0015	0.0005	0.004243	0.004158	0.001	0.00098
7	0.0015	0.002	0.0015	0.005	0.0049	0.003	0.00294
9	0.001	0.0035	0.0005	0.00728	0.007135	0.001	0.00098
10	0.006	0.0075	0.0005	0.019209	0.018825	0.001	0.00098
19	0	0	0.001	0	0	0.002	0.00196
23	0.003	0.005	0	0.011662	0.011429	0	0
24	0.0015	0.002	0.0015	0.005	0.0049	0.003	0.00294

определения контрольных точек, метода создания сети мониторинга, методов мониторинга, форм ввода данных, механизма мониторинга и учетных записей.

Пример исследования (плотина Аль-Шамия в городе Аль-Дивани в Республике Ирак) показал

успешность и точность предложенного механизма и метода интеграции традиционных устройств мониторинга (тахеометров и уровня) и глобальной системы позиционирования. (GPS), так как показало, что вместе они составляют точную и экономичную систему контроля за жизненным циклом плотин.

Литература

1. Dam Safety: Use of Instrumentation in Dams / N. Adamo, N. Al-Ansari, V. Sissakian, J. Laue, and S. Knutsson // Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, pp. 145–202 Sep. (2020) doi: 10.47260/jesge/1115.
2. Anomaly detection in dam behaviour with machine learning classification models / F. Salazar, A. Conde, J. Irazbal, and D. J. Vicente // Water (Switzerland) vol. 13, no. 17 Sep. (2021) doi: 10.3390/w13172387.
3. Deformation monitoring of reservoir dams using GNSS: An application to south-to-north water diversion project, China / R. Xiao, H. Shi, X. He, Z. Li, D. Jia, and Z. Yang // IEEE Access vol. 7 pp. 54981–54992 (2019) doi:10.1109/ACCESS.2019.2912143.
4. Bridges Structural Health Monitoring and Deterioration Detection Synthesis of Knowledge and Technology FINAL REPORT Prepared for / Y. Dong, R. Song, and H. Liu // (2010).
5. Small dams: guidelines for design, construction and monitoring [Text] / P. L. and P. M. A. // Copyright 1997 Cemagref editions and ENGREF (France), with French Committee on Large Dams - ISBN 2-85362-448-X (2002).
6. Design of concrete structures / David. Darwin, C. W., Charles W. Dolan, and A. H. Nilson // (2016) by McGraw-Hill Education ISBN 978-0-07-339794-8
7. Cracking risk and overall stability analysis of Xulong High Arch Dam: A case study / P. Lin, P. Wei, W. Wang, and H. Huang, Applied Sciences (Switzerland) // vol. 8 no. 12 (2018) doi: 10.3390/app8122555.
8. Geodetic and remote-sensing sensors for dam deformation monitoring Sensors (Switzerland) / M. Scaioni, M. Marsella, M. Crosetto, V. Tornatore, and J. Wang, // vol. 18 no. 11. Mdpi AG (2018) doi: 10.3390/s18113682.
9. A Framework in Support of Structural Monitoring by Real Time Kinematic GPS and Multisensor Data [Text] / C. Ogaja // The University of New South Wales
10. Sydney NSW 2052 (2002)
11. Use of terrestrial laser scanning technology for long term high precision deformation monitoring / R. Vezonik, T. Ambro i, O. Sterle, G. Bilban, N. Pfeifer, and B. Stopar // vol. 9 no. 12 pp. 9873–9895 (2009) doi: 10.3390/s91209873.
12. Structural Deformation Monitoring and Analysis of Highway Bridge Using Accurate Geodetic Techniques / A. A. E.-W. Beshr, Engineering // vol. 07 no. 08 pp. 488–498 (2015) doi: 10.4236/eng.2015.78045.
13. Automated Dam Displacement Monitoring Using A Robotic Total Station [Text] / J. A. Lutes // (2002) Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick P.O. Box 4400 Fredericton, N.B. Canada E3B 5A3.
14. Federal Guidelines for Dam Safety Glossary of Terms [Text] / Joseph S. H., Jack T., James P., Jack B., Brian H. and Edward C. P. // Washington D.C. 20472 (2004).
15. Science for a Risky World-A U.S. Geological Survey Plan for Risk Research and Applications Hazards Society USGS risk research and applications [Text] / Kristin A. Ludwig, David W. Ramsey, Nathan J. W., Alice B. P., Jonathan W. G., Nathaniel G. P., Nicolas L., Todd A. K., Kenneth W. H., Donyelle K. D., and Patricia R. B. // (2018) U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
16. Construction Surveying Manual for Contractors [Text] / Joseph R. T. // (2021) 503 986-3316.
17. Dam Deformation Surveys with Modern Technology [Text] / M. Jack and A. Atkinson // (2014) University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying
18. A General Review of The Deformation Monitoring Techniques and A Case Study: Analyzing Deformations Using GPS/ Levelling [Online] / S. Erol, B. Erol, and T. Ayan // Available: <http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/work/insar.htm>,
19. Control points selection based on maximum external reliability for designing geodetic networks / M. T. Matsuoka et al. // Applied Sciences (Switzerland) vol. 10 no. 2 (2020) doi: 10.3390/app10020687.

20. Malaysia Dam Safety Management Guidelines (My Dams) 2017 Electronic Copy / Ir. Hj. Ab. Qahar bin Osman // (2017) The Government of Malaysia ISBN 978-983-41328-5-9
21. Understanding coordinate reference systems, datums and transformations Humorous Science View project Datum Modernisation View project Understanding Coordinate Reference Systems, Datums and Transformations / V. Janssen and V. Janssen, [Online] // Available: <https://www.researchgate.net/publication/228819535>
22. Evaluation Differential Global Positioning System Navigation Using High-Frequency Ground Wave Transmissions / J. R. Vetter and W. A. Sellers // (1998) Johns Hopkins Apl Technical Digest Vol. 19 No. 3.
23. Precision and accuracy of the static gnss method for surveying networks used in civil engineering / N. A. Correa-Mu os and L. A. Cer n-Calder n // Ingenieria e Investigacion vol. 38 no. 1 pp. 52–59 (2018) doi: 10.15446/ing.investig.v38n1.64543.
24. Monitoring and Analysis of Vertical and Horizontal Deformations of a Large Structure Using Conventional Geodetic Techniques / E. Sylvester Okiemute Candidate, O. Matthew Nnonyelu Professor, and O. Olujimi Fatai Candidate // vol. 8 no. 12 (2018) [Online]. Available: www.iiste.org
25. Engineering Surveying, Sixth Edition [Text] / W. Schofield and M. Breach // Elsevier Ltd (2007) ISBN–13: 978-0-7506-6949-8
26. Reflector –less Total Station Measurements and their Accuracy, Precision and Reliability / L. H. Coaker // (2009) University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying
27. Structural Deformation Surveying Engineer Manual [Text] / Jeffery A.A. // (2002) U.S Army Corps of Engineers Washington DC.