

УДК [528.482:624.19]+528.54(470-25)(470.43)
DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-32-38

Оперативный геодезический мониторинг осадок зданий в зонах проходки тоннелей Московского и Самарского метрополитенов на основе видеогидростатического нивелира

Н. А. Кузянов¹, И. Ю. Васютинский², С. И. Васютинская^{2✉}, О. В. Вишневкова²

¹ ООО «МОНИТРОН», г. Москва, Российская Федерация

² Московский государственный университет геодезии и картографии,
г. Москва, Российская Федерация

e-mail: st.vass@yandex.ru

Аннотация. Строительство метрополитенов в городах России идет активными темпами и неизбежно будет наращиваться. Прокладка тоннелей метро приводит к нарушениям стабильности положения зданий и сооружений, находящихся в зоне строительства. Возникает необходимость организации оперативного мониторинга положения объектов городской инфраструктуры в период интенсивного строительства. Средства для реализации такого рода мониторинга должны обеспечивать оперативность и высокую точность геодезических измерений, что позволит быстро определять тенденцию возможных деформаций и принимать необходимые меры. В статье представлены конструкция и основные технические параметры видеогидростатического нивелира (ВГН), разработанного и производимого ООО «МОНИТРОН». Главными достоинствами гидростатического нивелира являются возможность одновременного контроля взаимного высотного положения большого числа контролируемых точек сооружения и выполнения измерений в условиях отсутствия прямой видимости между ними. Видеогидростатический нивелир позволяет контролировать уровень жидкости в сосудах на основе компьютерной обработки в телевизионном видеокадре изображений визирных целей, отраженных от поверхности жидкости. Рассмотрены схемы и результаты оперативного мониторинга на основе ВГН осадок зданий в зонах проходки тоннелей Московского и Самарского метрополитенов. Результаты мониторинга показали синхронную динамику результатов измерений в величинах порядка единиц и десятых долей миллиметра при высокой эффективности и надежности работы ВГН и относительной стабильности положения наблюдаемых объектов.

Ключевые слова: строительство метрополитенов, проходка тоннелей, осадка зданий, оперативный геодезический мониторинг, видеогидростатический нивелир

Для цитирования:

Кузянов Н. А., Васютинский И. Ю., Васютинская С. И., Вишневкова О. В. Оперативный геодезический мониторинг осадок зданий в зонах проходки тоннелей Московского и Самарского метрополитенов на основе видеогидростатического нивелира // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 32–38. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-32-38

Введение

Строительство объектов метрополитенов в крупных городах страны идет активными темпами и неизбежно будет наращиваться. Прокладка тоннелей метро производится закрытым и открытым способами. В обоих случаях появляется необходимость проведения

именно оперативного мониторинга положения и состояния объектов и их составных частей, находящихся вблизи зон строительства. Опасения владельцев зданий и сооружений, расположенных в зонах строительства линий метро в городских условиях, вполне понятны.

Оперативный мониторинг отличается тем, что обеспечивает возможность производства

необходимых циклов геодезических измерений в любой требуемый момент, с любой частотой, с соответствующей точностью, а в некоторых случаях, если это возможно, и дистанционно, что позволяет оперативно получать необходимую информацию.

Оперативный мониторинг обычно необходимо проводить в ограниченный период времени, например, в период строительства, интенсивной эксплуатации или возникновения каких-либо опасностей. Оперативный мониторинг положения наблюдаемых объектов в процессе строительства и эксплуатации может быть основан на использовании новейших разработок, например, средств гидростатического нивелирования.

Главным достоинством гидростатического нивелира (ГН), основанного на свойстве свободной поверхности жидкости в системе сообщающихся сосудов устанавливаться горизонтально (перпендикулярно направлению силы тяжести), является возможность одновременного контроля взаимных высотных положений большого числа (десятки, сотни) контролируемых точек сооружения и выполнения измерений в условиях отсутствия прямой видимости между ними [1, 2].

Большое разнообразие моделей ГН обусловлено способами измерения уровня жидкости в сосудах: от визуального в ранних моделях и до автоматизированного – в современных.

К современным устройствам относится видеогидростатический нивелир, в котором уровень жидкости в сосудах измеряется на основе компьютерной обработки изображений визирных целей (ВЦ) в телевизионном видеокадре, отраженных от поверхности жидкости [3].

Методы и материалы

Конструкция ВГН поясняется рис. 1, на котором изображены сообщающиеся сосуды C_1 – C_n , установленные в контролируемых точках сооружения, соединенные между собой жидкостным ЖШ и воздушным ВШ шлангами и заполненные жидкостью Ж, уровень которой устанавливается горизонтально. На сосудах установлены видеодатчики $ВД_1$ – $ВД_n$ для измерения уровня жидкости.

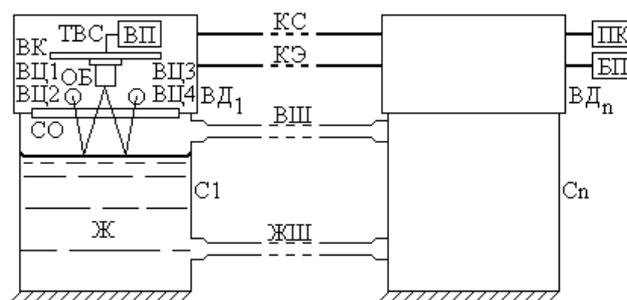


Рис. 1. Схема видеогидростатического нивелира

ВД содержат модульную видеокамеру ВК с объективом ОБ, на противоположных сторонах которого установлены визирные цели ВЦ1–ВЦ4. Изображения визирных целей, отраженные от поверхности жидкости, через стеклянное окно СО попадают в объектив, в результате чего в ВК формируется телевизионный видеосигнал (ТВС), содержащий эти изображения в телевизионном видеокадре (ТВК).

Расстояния между центрами изображений ВЦ в ТВК обратно пропорциональны измеряемому уровню жидкости, что служит основой для измерений.

ВД соединены между собой сигнальным кабелем КС и кабелем электропитания КЭ, подключенными соответственно к персональному компьютеру ПК и к блоку питания БП.

ТВС обрабатывается в видеопроцессоре ВП, и вычисляется уровень жидкости в сосуде, который по соответствующему запросу передается в ПК.

Передача информации от ВД в ПК осуществляется под управлением специальной прикладной компьютерной программы в соответствии с протоколом ModBus и стандартом RS-485. Результаты измерений записываются в архивном файле в энергонезависимой памяти ПК.

Общее программное обеспечение ВГН при наличии специального ключа предоставляет доступ удаленным ПК (смартфонам) к текущей информации и к архивным файлам.

Основные технические параметры ВД модели ВДЦ-19, на которую получен сертификат об утверждении в качестве типа средств измерений [4] и патенты РФ на изобретения [5–10], представлены в таблице.

Основные технические параметры ВД

Параметр	Единицы измерения	Величина	Примечание
Диапазон измерений уровня жидкости, отсчитанного от верхнего края сосуда	мм	115 ± 50	При необходимости может быть изменен
Среднее квадратическое отклонение (СКО) результатов измерений	мм	0,1	Зависит от диапазона измерений
Рабочий диапазон температур	°С	-40 ... +50	Обеспечивается термостатированием ВД
Напряжение электропитания постоянного тока	В	15...36	
Ток потребления в режиме без термостатирования/с термостатированием, не более	А	0,3/0,06	
Габариты сосуда с ВД, диаметр/высота	мм	116/290	

В качестве жидкости в ВГН используется неядовитый, негорючий, невзрывоопасный водный раствор пропиленгликоля с температурой замерзания $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Опыт эксплуатации ВГН за период 2013–2022 гг. на более чем 30 различных объектах показал его высокую эффективность и надежность работы.

Результаты

Цель оперативного мониторинга состоит в получении информации об осадках зданий в зоне проходок тоннелей и выявлении динамики осадок на ранних этапах развития (в величинах до десятых долей миллиметра).

Мониторинг осадок зданий в зоне проходки закрытым способом Московского метрополитена. Мониторинг осуществлялся в 102 контролируемых точках, расположенных в основании комплекса зданий РГУНиГ им. И. М. Губкина по адресу: г. Москва, Ленинский пр., д. 65, на которых были установлены сосуды ВГН с ВД. Общая протяженность трубопроводов ВГН составила около 185 м.

План расположения 19 (из 102) сосудов с ВД в основании центральной части комплекса зданий, находящихся над проходкой двух тоннелей московского метрополитена, представлен на рис. 2.

На рис. 3 в качестве примера представлены результаты мониторинга осадок в период проходки одного из тоннелей трех контролируемых точек (из 19) с установленными на них сосудами ВД с номерами 5, 8 и 9, с расстояниями между ними около 7 м и расположенными непосредственно над проходкой одного из тоннелей.

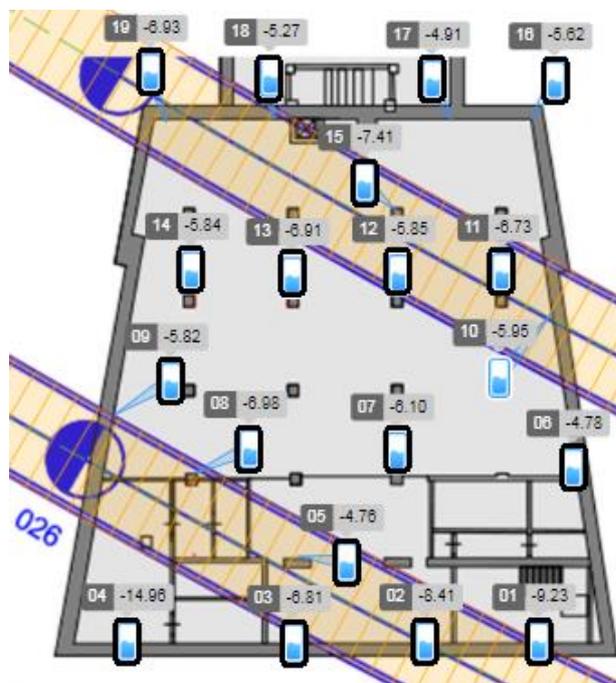


Рис. 2. План расположения 19 сосудов ВГН в основании центральной части зданий по адресу: г. Москва, Ленинский пр., д. 65

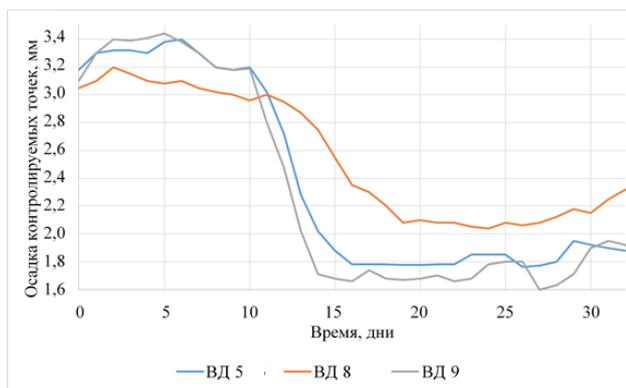


Рис. 3. Результаты мониторинга осадок трех контролируемых точек в центральной части зданий по адресу: г. Москва, Ленинский пр., д. 65

Как следует из рис. 3, результаты измерений в течение одного месяца показали синхронное изменение осадок контролируемых точек, что свидетельствует о достоверности получаемой информации, так как эти точки располагаются в непосредственной близости друг от друга. В то же время осадки составили: точки 5 – -1,6 мм, точки 8 – -1,2 мм и точки 9 – -1,7 мм. Также наблюдается стабилизация осадок в период с 16-х по 30-е сутки наблюдений.

В других контролируемых точках значительных деформаций не наблюдалось.

Таким образом, установлено, что стабильность наблюдаемого здания в самый опасный период строительства практически не нарушена.

Мониторинг осадок здания в зоне проходки открытым способом Самарского метрополитена. Здание по адресу: г. Самара, ул. Галактионовская, д. 139 располагалось параллельно разрабатываемому открытым способом котловану тоннеля метрополитена. Мониторинг осуществлялся в 19 контролируемых точках, расположенных в основании здания. На контролируемых точках были установлены сосуды ВГН с ВД. Общая протяженность системы сообщающихся сосудов ВГН составила около 95 м.

План расположения десяти сосудов с ВД представлен на рис. 4.

Результаты мониторинга осадок десяти контролируемых точек представлены на рис. 5. Мониторинг осуществлялся в течение четы-

рех месяцев в период интенсивных земляных и строительных работ.

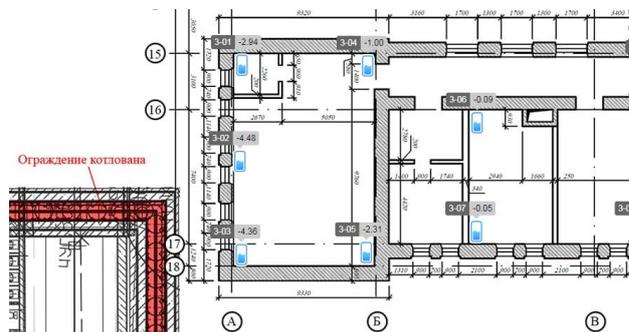


Рис. 4. План расположения сосудов ВГН в центральной части здания по адресу: г. Самара, ул. Галактионовская, д. 139

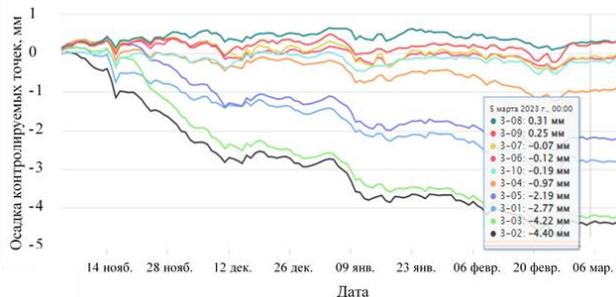


Рис. 5. Результаты мониторинга осадок контролируемых точек в центральной части здания по адресу: г. Самара, ул. Галактионовская, д. 139

Наибольшие осадки (см. рис. 5) наблюдались для контролируемых точек с установленными на них сосудами 3-05, 3-01, 3-03 и 3-02. Они составили: -2,2; 2,8; -4,3 и 4,0 мм соответственно. Осадки остальных точек в пределах 1–2 мм, т. е. разработка котлована существенно не повлияла на положение наблюдаемого здания.

Обсуждение

Оперативный геодезический мониторинг осадок объектов обеспечивается использованием аппаратуры разработанного видеогидростатического нивелира, позволяющего производить высокоточные измерения с любой частотой.

Результаты мониторинга осадок зданий в зонах проходки закрытым способом тон-

неля Московского метрополитена и открытым способом Самарского метрополитена показали синхронную динамику результатов измерений в величинах порядка единиц и десятых долей миллиметра при высокой эффективности и надежности работы ВГН и относительной стабильности положения наблюдаемых объектов.

Заключение

Использование видеогидростатического нивелира для мониторинга осадок зданий

и сооружений в зоне строительства метрополитенов позволяет одновременно контролировать взаимное высотное положение большого числа точек, что обеспечивает оперативный мониторинг осадок всего объекта в целом. Характерная для ВГН высокая точность результатов измерений позволяет следить за динамикой осадок на ранних этапах их развития. Компьютерная обработка и доступность полученных результатов в реальном масштабе времени обеспечивают своевременное принятие необходимых технических решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васютинский И. Ю. Гидростатическое нивелирование. – М. : Недра, 1976. – 167 с.
2. Васютинский И. Ю., Васютинская С. И., Буюкян С. П., Кузянов Н. А. Российский опыт разработки, создания и применения прецизионных устройств гидростатических нивелиров на объектах научного, гражданского и промышленного назначения // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 49–54. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-49-54.
3. Буюкян С. П. Видеоизмерительная система гидростатического нивелира // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 2. – С. 128–130.
4. Сертификат об утверждении типа средств измерений № 82892-21 (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 956 от 07.09.2021).
5. Патент на изобретение RU №2112922. Отсчетное устройство гидростатического нивелира. / Буюкян С. П., Рязанцев Г. Е.; Бюл. № 16, 1998.
6. Патент на изобретение RU №2160430. Уровнемер. / Буюкян С. П., Рязанцев Г. Е.; Бюл. № 34, 2000.
7. Патент на изобретение RU № 2395929. Видеопроцессор для обработки видеосигнала в видеоизмерительных системах. / Буюкян С. П.; Бюл. № 21, 2010; заяв. 23.06.2009; опубл. 27.07.2010.
8. Патент на изобретение RU № 2598790. Видеопроцессор для видеоизмерений. / Буюкян С. П.; Бюл. № 27, 2016; заяв. 08.12.2024; опубл. 27.09.2016.
9. Патент на изобретение RU № 2730382. Видеоатчик для измерения уровня жидкости в сосудах гидростатического нивелира. / Буюкян С. П.; Бюл. № 24, 2020; заяв. 05.11.2019; опубл. 21.08.2020.
10. Патент на изобретение RU № 2748721. Видеоатчик гидростатического нивелира с расширенным диапазоном работы. / Буюкян С. П., Кузянов Н. А., Медведев Г. М., Симутин А. Н.; Бюл. № 16, 2021; заяв. 04.08.2020; опубл. 31.05.2021.

Об авторах

Николай Алексеевич Кузянов – ведущий инженер.

Игорь Юрьевич Васютинский – доктор технических наук, профессор.

Станислава Игоревна Васютинская – кандидат экономических наук, доцент.

Ольга Владимировна Вишивкова – доктор технических наук, профессор.

Получено 03.06.2024

©Н. А. Кузянов, И. Ю. Васютинский,
С. И. Васютинская, О. В. Вишивкова, 2024

Operational geodetic monitoring of building sediments in the tunnel penetration zones of the Moscow and Samara subways by video hydrostatic level

N. A. Kuzianov¹, I. Yu. Vasiutinskiy², S. I. Vasiutinskaya²✉, O. V. Vshivkova²

¹ MONITRON LLC, Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: st.vass@yandex.ru

Annotation. Currently, the construction of subways in Russian cities is steadily increasing. The laying of subway tunnels leads to violations of the stability of buildings and structures located in the construction zone. There is a need to organize operational monitoring of the situation of urban infrastructure facilities during the period of intensive construction. The means for the production of this kind of monitoring should ensure productivity and high accuracy of geodetic measurements, which will quickly detect the trend of possible deformations and take the necessary actions. The article presents the design and main technical parameters of the videohydrostatic level (VHL) developed and manufactured by MONITRON LLC. The main advantages of the hydrostatic level are the possibility of simultaneous control of height differences of a large number of controlled construction points and measurements production in the absence of a sight line of between them. The video hydrostatic level allows you to control the liquid level in receptacles by computer processing of images in a television video frame of sighting targets reflected from the liquid surface. The schemes and results of operational monitoring based on the VHL of the sediment of buildings in the tunnel penetration zones of the Moscow and Samara subways are considered. The monitoring results show the synchronous dynamics of measurement results of the order of units and tenths of a millimeter with high productivity and reliability of VHL operation and relative stability of the position of the monitored objects.

Keywords: construction of subways, tunneling, draining of buildings, operational geodetic monitoring, video hydrostatic leveling

REFERENCES

1. Vasyutinskiy, I. Yu. (1976). *Gidrostaticheskoe nivelirovanie [Hydrostatic leveling]*. Moscow: Nedra, 167 p. [in Russian].
2. Vasyutinskiy, I. Yu., Vasyutinskaya, S. I., Buyukyan, S. P., & Kuzyanov, N. A. (2022). Russian experience in the development, creation and application of precision devices for hydrostatic systems at scientific, civil and industrial facilities. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27 (6), 49–54 [in Russian].
3. Buyukyan, S. P. (2003). Video measuring system of hydrostatic leveling. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka [News of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography]*, 2, 128–130 [in Russian].
4. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 956 of 07.09.2021. *Type approval Certificate for measuring instruments No. 82892-21* [in Russian].
5. Buyukyan, S. P., & Ryazantsev G. E. *Patent RF No. 2112922*.
6. Buyukyan, S. P., & Ryazantsev G. E. *Patent RF No. 2160430*.
7. Buyukyan, S. P. *Patent RF No. 2395929*.
8. Buyukyan, S. P. *Patent RF No. 2598790*.
9. Buyukyan, S. P. *Patent RF No. 2730382*.
10. Buyukyan, S. P., Kuzyanov N.A., Medvedev G.M., Simutin A.N. *Patent RF No. 2748721*.

Authors details

Nikolay A. Kuzyanov – leading engineer.

Igor Yu. Vasyutinsky – D. Sc., Professor.

Stanislava I. Vasyutinskaya – Ph. D., Associate Professor.

Olga V. Vshivkova – D. Sc., Professor.

Received 03.06.2024

© *N. A. Kuzyanov, I. Yu. Vasyutinsky,
S. I. Vasyutinskaya, O. V. Vshivkova, 2024*