

УДК 627.24

Применение автоматизированной системы деформационного мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации сооружений портовой и транспортной инфраструктуры

Авторы:**Яценко Андрей Иванович**, заместитель генерального директора ООО «Фирма Г.Ф.К.»;**Белый Андрей Анатольевич**, кандидат технических наук, доцент, технический директор ООО «К2 Инжиниринг»;**Никитчин Андрей Андреевич**, кандидат технических наук, доцент, генеральный директор ООО «АЕМ ГЕО»;**Бернд Оттомар Хиллер**, кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Фирма Г.Ф.К.».**Аннотация**

В статье представлено описание практического решения проблемы обеспечения безопасной эксплуатации сооружений портовой и транспортной инфраструктуры на примере одного из действующих объектов подобного плана на Северо-Западе страны. Приведены сформулированные авторами определения и требования по мониторингу. Проиллюстрированы проблемы эксплуатации таких объектов. Даны конкретные практические предложения и описание действующей в течение нескольких лет системы мониторинга автоматизированного деформационного состояния сооружений. Сделаны выводы и заключения.

Ключевые слова: мониторинг, объект транспортной инфраструктуры, портовые сооружения, геодезические методы, надежность эксплуатации.

Abstract

The article describes a solution to the scientific and applied problem of ensuring the safe operation of facilities and transport infrastructure of the port infrastructure using the example of one of the existing facilities of such a plan in the North-West of the country. The definitions and requirements for monitoring formulated by the authors are given. The problems of operation of such facilities are illustrated. Specific practical proposals and description of the system for monitoring the automated deformation state of structures, which has been operating for several years, are given. Conclusions were drawn.

Keywords: monitoring, transport infrastructure facility, port facilities, geodetic methods, operation reliability.

Российское побережье, протяженностью почти 39 тыс. км, омывается краевыми и внутриматериковыми водами 13 морей принадлежащих 3 океанам.

Из школьного учебника географии

Из 67 морских портов только 6 загружены в полную мощность!

Из речи В. В. Путина
20 октября 2021 г.

ВВЕДЕНИЕ

Морские и речные пути издревле использовались человечеством как наиболее бюджетный способ логистики (доставки) грузов и людей в любые отдаленные места. В текущее время объем речных и морских грузоперевозок в структуре российского грузо- и пассажирооборота составляет всего 2% при 63% объема общемировых морских грузоперевозок [1; 2]. В современных условиях Правительство Российской Федерации начинает уделять большое внимание модернизации современной инфраструктуры портов, ее реконструкции, внедрению современных цифровых технологий и методов перевалки грузотоваров. Порты приобрели возможность к активному развитию речных и морских причалов и, как следствие, других сопутствующих гидротехнических сооружений.

Регулярное постоянное воздействие неблагоприятных природно-климатических факторов (таких как сильный ветер, шторм, шквал, льдообразование и сопутствующие явления

и пр. [3]), а также техногенные воздействия судов при швартовке и стоянке на ограждающие поверхности причалов приводят к нарушению их целостности, к вымыванию заполняющих материала, к разрушению вертикальных причальных стенок, внезапному проседанию асфальтовых покрытий автотранспортных и крановых путей, деформации опор трубопроводных коммуникаций, резервуаров хранения транспортируемых сжиженных продуктов и пр.

Возникновение внезапных деформаций инфраструктуры гидротехнических сооружений порта приводит к авариям и экологическим катастрофам, таким как разлив топлива в Норильске в 2019 г., авария в порту Усть-Луга, прорыв дамбы в Брумадинью (Бразилия) на железорудной шахте и др.¹

Очистка территорий загрязнения требует значительных людских усилий, больших финансовых затрат и наносит непоправимый вред окружающей среде, что, в свою очередь, негативно сказывается на качестве жизни, здоровье и благосостоянии граждан.

Как известно, мониторинг — это инструмент долгосрочных наблюдений, позволяющий значительно повысить точность, достоверность и эффективность системы контроля за деформациями и иными параметрами. Примерами использования их в современных реалиях являются различные объекты промышленно-гражданского [6–8; 10; 17; 18] и транспортного назначений [4; 5; 8; 11; 12], также как и гидротехнических сооружений [13; 14] и, в частности, портовых сооружений [15; 16].

Целью статьи является обоснование и предложение современных решений по повышению уровня технического состояния подобных конструкций.

Задачи, которые можно сформулировать в развитие цели статьи, сводятся к следующему:

- краткое описание конструкций причалов и анализ проблем их эксплуатации;
- предложение и описание сконструированной авторами системы мониторинга;
- предложения по эксплуатации и обеспечению стабильности работы системы мониторинга.

ТРЕБОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ (МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ)

Согласно ГОСТ Р 54523–2011 [19], для обеспечения безопасной эксплуатации объектов портовых гидротехнических сооружений создается система наблюдений и контроля сооружения, проводимых по определенной программе в процессе его эксплуатации в целях оценки технического состояния:

- «Мониторинг технического состояния сооружений проводят для обеспечения их безопасной эксплуатации и... принятия мер по устранению данных дефектов и нарушений» [19] (п. 3.11.14).
- «Мониторинг технического состояния сооружений проводится... путем их регулярных и периодических технических осмотров» [19] (раздел 6).
- «Методика и объем технических осмотров и наблюдений при мониторинге... должны

1 <https://dprom.online/unsolution/5-ekologicheskikh-katastrof-v-rossii/>.

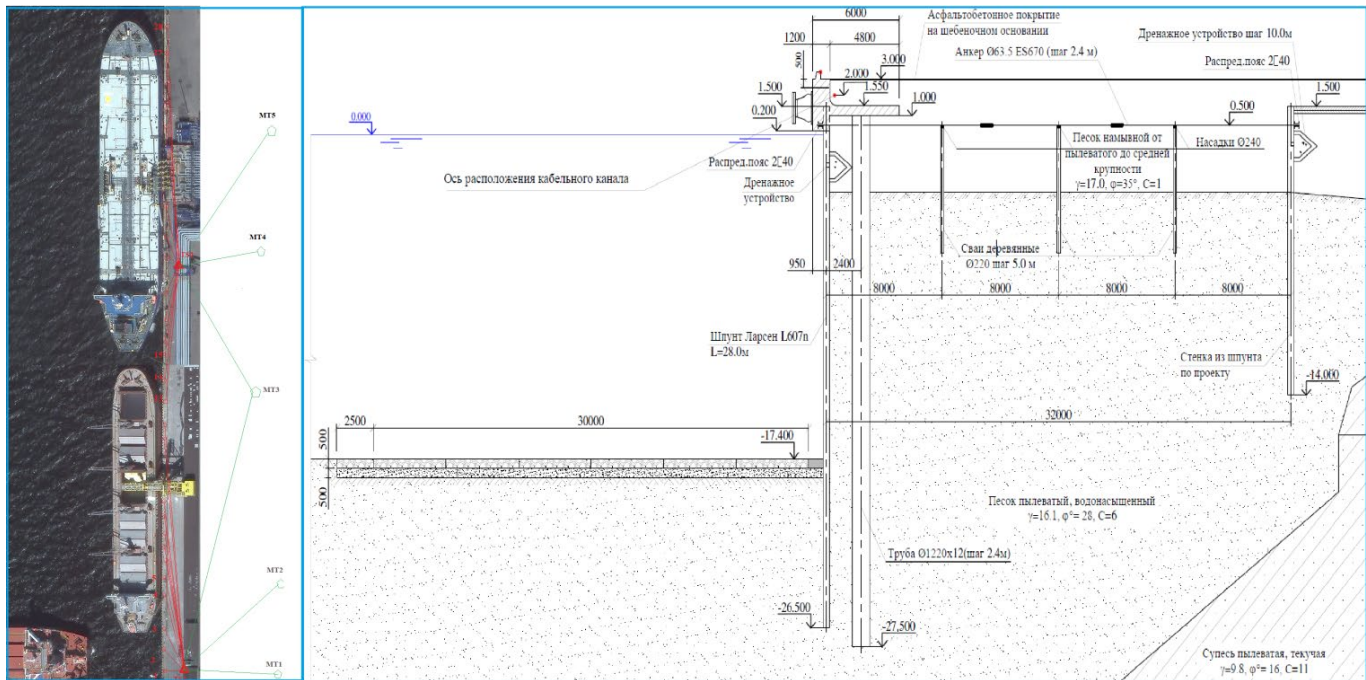


Рисунок 1. Общий вид причалов, оборудованных автоматизированной системой деформационного мониторинга

обеспечивать... достоверность и полноту... информации для заключения о текущем техническом состоянии сооружений и их... безопасной эксплуатации».

- «При обследовании сооружений должны проверяться... геометрические размеры конструктивных элементов и их пространственное положение... которые не должны выходить за установленные проектом или нормативными документами пределы».

Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) относится к инструментальному, детальному контролю.

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИЧАЛОВ

Космический снимок двух причалов, на которых была установлена автоматизированная система деформационного мониторинга причала (АСДМ причала), приведен на рис. 1 слева, попереч-

ный разрез причала — на рис. 1 справа.

Из-за требований заказчика о неразглашении здесь не названы порт и номера причалов; отметим лишь, что гидротехнические сооружения портовой инфраструктуры расположены в Северо-Западном регионе России. Как видно из представленных схем и снимков, причал представляет собой сложную инженерную конструкцию, установленную на трубах диаметром 1220×12 с шагом 4 м, с использованием стальных анкеров по типу 63.5 ES670 по деревянным балкам и укрепленным железобетонным оголовком размером 1500×6000 мм в плане. Внутренняя полость причала заполнена песком. Для предотвращения вымывания наполнителя причал огражден металлическим шпунтом Ларсен L607n длиной 28 м, погруженным в дно акватории на 10 м. На внутреннюю часть причала нанесено гидроизоляционное покрытие из геотекстиля.

По верху (в уровне проезжей/прохожей части) причалы имеют асфальтовое покрытие на щебеночном основании.

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИЧАЛОВ

Как было ранее описано, природные и техногенные воздействия на причалы (причалную стенку) приводят к деформации ограждающих конструкций из шпунта Ларсен L607n, образованию «свищей» (расхождению-разрыву соединительных замков), разрушению соединительного пояса, разрыву дренажных мембран, вымыванию песчаного наполнителя, образованию скрытых полостей и деформаций поверхности причала, транспортных путей и т. п. Это негативно сказывается на уровне безопасности портового сооружения в целом и на бесперебойном функционировании инфраструктуры портового сооружения в частности. Кроме того, не обеспечиваются требуемый режим

работы транспорта, трубопроводов, безаварийность работы персонала, **сохранность** жидкостей в емкостях. В таких условиях становится сложнее предотвратить возможные разливы нефтепродуктов, что может привести к снижению общего уровня экологической безопасности порта.

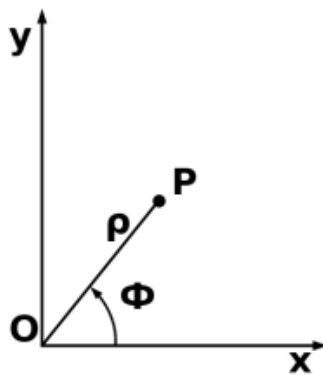
Для постоянного контроля технического состояния причалов необходимо непрерывно проводить измерение линейных размеров и плано-высотного положения элементов конструкции причалов. Для этого на контролируемых причалах устанавливаются высотные марки для нивелирования и высокоточные марки (призмы) **для** плано-высотных отметок.

Описание организации и проведение типовых работ по геодезическому сопровождению (контрольные измерения) объектов в данной статье не приводятся. При выполнении этих работ требуется постоянный контроль работ исполнителями (прежде всего, за полученными данными, надлежащим состоянием измеряемого оборудования и качеством проведенного последующего анализа).

ОПИСАНИЕ УСТАНОВЛЕННОЙ СИСТЕМЫ

Для снижения рутинных операций по деформационному контролю конструкций причала, повышения оперативности получения актуальной информации, своевременного принятия решений по обеспечению безопасности грузоперевалочных операций и эксплуатации инфраструктуры порта была разработана и затем реализована концепция АСДМ причала.

АСДМ причала была спроектирована и выполнена на оптоэлектронном принципе измере-



ния расстояния P в газовой среде на отражающую поверхность геодезической марки (знака). Для увеличения точности АСДМ на контролируемые элементы были установлены специальные высокоточные светоотражающие (световозвращающие) призмы.

В основе определения прямоугольных координат наблюдаемых (контролируемых) точек электронными тахеометрами лежит полярный метод, в котором измеряются расстояние P от места расположения тахеометра до наблюдаемой точки и угол Φ . Затем вычисляются координаты по формулам:

$$X = P \cdot \cos \Phi, Y = P \cdot \sin \Phi$$

Электронные тахеометры-автоматы имеют встроенное специальное программное обеспечение (СПО), осуществляющее в автоматическом режиме определение плановых координат и высот наблюдаемых точек. Управляющее СПО системы дает возможность многократно переопределять координаты наблюдаемых точек в течение времени и на основании накопленных данных вычислять трехмерные изменения координат (смещения, деформации), скорость смещения и другие величины. По результатам анализа изменения положения групп наблюдаемых (контролируемых) точек делаются выводы о состоянии как от-

дельных конструктивных элементов, так и о причалах в целом.

Для обеспечения надежности получаемых результатов выполняются многократные измерения при обязательном контроле стабильности положения электронных тахеометров-автоматов. Для контроля стабильности положения тахеометров применяются периодическое переопределение координат тахеометра методом «обратной засечки» от стабильных пунктов, закрепленных точными призмами, и при необходимости при значительном изменении положения тахеометра перерасчет его текущих координат.

Для работы АСДМ на причале установлены два тахеометра на пилонах с приборными шкафами (рис. 2).

На наблюдаемых зонах причалов — различных участках колесоотбойного бруса — установле-



Рисунок 2. Общий вид тахеометра



Рисунок 3. Механические укрытия



Рисунок 4. Пункты плано-высотного обоснования с призмами обратной засечки

но 36 мониторинговых призм. Механическая защита наблюдаемых (мониторинговых) призм от повреждения (швартовые тросы, наезд грузопогрузочной техники, изменения положения призмы-марки из-за внешних причин и пр.) осуществляется специальными металлическими укрытиями (рис. 3).

Для контроля устойчивости тахеометров **устанавливаются** вне зоны возможных деформаций пункты плано-высотного

обоснования (ПВО) с призмами обратной засечки (рис. 4).

Около каждого тахеометра установлен датчик температуры и атмосферного давления в защитном кожухе (рис. 5). Кожух, защищающий датчик от прямых солнечных лучей, выполнен из специального пластика и обеспечивает точное измерение температуры и атмосферного давления.

В штатном режиме функционирования АСДМ причал осуществ-

ляет несколько циклов измерений в сутки по назначенным группам точек. В начале каждого цикла измерений тахеометры TS1 и TS2 уточняют свое положение методом обратной засечки относительно установленных на пунктах ПВО призм (MT1... MT6). Это обеспечивает получение реальных данных с учетом коррекции (drift смещения) положения прибора.

Функциональная схема представлена на рис. 6.

На следующем этапе производятся измерения трех координат мониторинговых призм, расположенных на различных участках колесоотбойного бруса и элементах технологических эстакад. Для удобства измерений и последующей обработки призмы объединены в наблюдаемые группы.

Полученные данные в ходе циклов мониторинга от датчиковой аппаратуры после автоматизированной первичной обработки размещаются в реляционной базе данных MS QL [21].

При смещении какой-либо из наблюдаемых точек на величину более заданного предельного значения АСДМ причала направ-



Рисунок 5. Датчик температуры и атмосферного давления в защитном кожухе

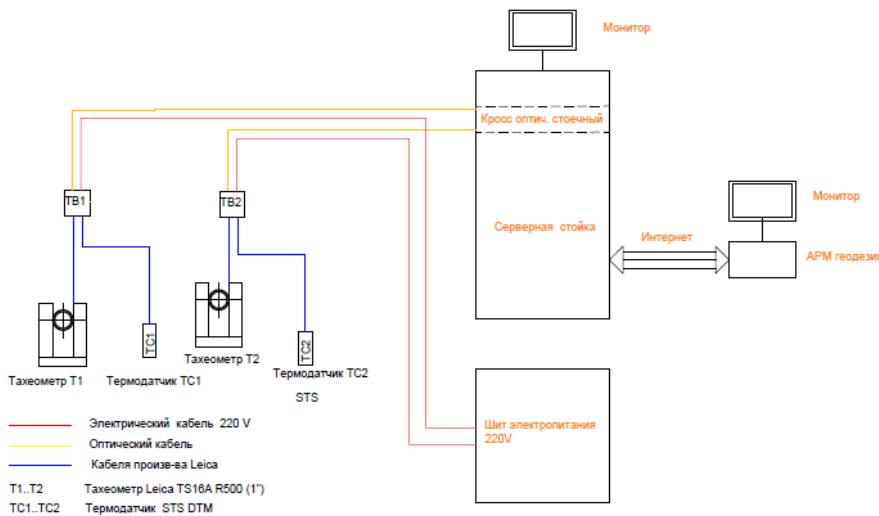


Рисунок 6. Функциональная схема

Автоматизированная система мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений причалов морского порта

Offset tables - максимальные смещения в период с 04.05.2021 по 03.06.2021

Текущие смещения Максимальные смещения Карта точек

Период:

ID	Название	Тип	Координаты			Смещения				Время измерения
			X	Y	H	ΔX	ΔY	ΔH	Δ3D	
47	TS1	Обычная	22487.0226	80468.6453	9.8299	-0.0001	-0.0017	-0.0062	0.0064	13.05.2021, 08:10:25
48	TS2	Обычная	22746.9744	80464.607	7.5307	-0.0006	0	-0.0083	0.0083	13.05.2021, 11:10:23
7	D01	Обычная	22836.57	80444.5124	3.3465	0.0033	0.0117	0.001	0.0122	24.05.2021, 18:01:26
8	D02	Обычная	22806.6706	80445.0539	3.3608	0.0008	0.0086	0.0043	0.0096	24.05.2021, 18:01:19
9	D03	Обычная	22805.0416	80445.1046	3.347	0.0031	0.0075	0.0008	0.0082	11.05.2021, 17:01:11
10	D04	Обычная	22780.3305	80445.5329	3.3426	-0.0074	-0.0086	-0.0044	0.0122	21.05.2021, 10:00:51
11	D05	Обычная	22778.7416	80445.5787	3.3359	0.0038	0.0039	-0.0115	0.0128	18.05.2021, 20:00:52
12	D06	Обычная	22753.28	80446.05	3.3578	0.0008	-0.0003	0.0051	0.0051	06.05.2021, 06:00:46
13	D07	Обычная	22751.7165	80446.0754	3.3287	0.0044	0.001	0.0027	0.0053	27.05.2021, 14:00:44
14	D08	Обычная	22724.9397	80446.5721	3.3584	-0.0004	-0.003	0.0014	0.0033	01.06.2021, 18:00:38
15	D09	Обычная	22723.6647	80446.606	3.3533	0.0026	-0.0034	0.0015	0.0045	01.06.2021, 19:00:35
37	D31	Обычная	22390.3296	80452.9162	3.3322	-0.0025	0.0154	-0.0007	0.0156	06.05.2021, 05:00:20
38	D32	Обычная	22387.1111	80453.0029	3.3271	-0.002	0.0146	-0.0004	0.0148	04.05.2021, 02:00:16
16	D10	Обычная	22698.9894	80447.1005	3.3508	0.0019	-0.0053	-0.0068	0.0088	04.05.2021, 02:00:23
17	D11	Обычная	22696.584	80447.1478	3.3438	0.0035	-0.006	0.0024	0.0074	01.06.2021, 19:00:23
18	D12	Обычная	22654.0034	80447.9301	3.3013	0.0042	0.0148	-0.0289	0.0327	19.05.2021, 11:02:08

Рисунок 7. Табличные формы

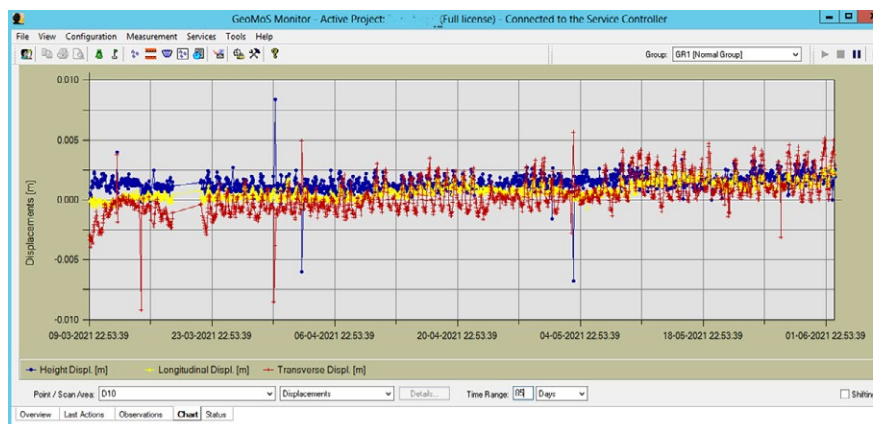


Рисунок 8. Графики наблюдений в точке на отбойном брус

ляет информационное сообщение соответствующим специалистам и представителям заказчика по заранее утвержденному алгоритму.

На основе этих данных создается автоматизированное рабочее место геодезиста (АРМ Геодезия), которое обеспечивает специалистов полным спектром координат наблюдаемых точек и дополнительной информацией о значении фиксируемых величин.

Выполняются также следующие процедуры:

- определение превышения предельных состояний конструкции;
- оповещение персонала о приближении и/или предельных значениях наблюдаемых параметров;
- строятся графики для визуализации процессов;
- представляются данные в табличных и/или градиентных формах, удобных для восприятия информации;
- накапливается и архивируется информация для последующего проведения постпроцессового анализа с оценкой направления и величины смещения элементов наблюдаемого объекта.

Пример табличных форм представлен на рис. 7. и графиков на рис. 8.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПУНКТОВ ПВО

Стабильность пунктов ПВО проверяется периодическими (раз в полгода) контрольными измерениями от пунктов геодезической сети 1-го или 2-го класса. Это особенно необходимо в начальные периоды эксплуатации АСДМ, когда происходят незначи-

тельные деформации, связанные с обустройством («закладкой») пунктов ПВО.

Также необходимо обеспечить температурную защиту пунктов ПВО от природно-климатических и погодных воздействий (прямая солнечная радиация, резкая смена температуры и др. [3]). Для этого пилоны изолируют термозащитным материалом с последующей установкой пластиковой оболочки.

ТОЧНОСТЬ СИСТЕМЫ

Точность определения системой местоположения призм складывается из нескольких факторов:

- внутренняя точность TRplus тахеометра;
- угловая точность прибора;
- тип и точность центрирования призмы (это расстояние точного соотношения оптического центра призмы с вертикальной осью держателя призмы);
- выбранная программа измерения EDM;
- внешние условия измерений — влияния погодных факторов на процесс измерения и возможность внесения дополнительных ошибок в получаемые данные

В описываемом в настоящей статье проекте АСДМ причала были применены современные тахеометры фирмы Leica Geosystems концерна Hexagon TS16 A R1000 1», которые имеют типовую точность $\pm 1 \text{ мм} + 1,5 \text{ ppm}$, с угловой точностью 1» на стандартную призму. Примененные мониторинговые призмы GMP104 и GMP101 обеспечивают эту точность [23].

Значительное воздействие на точность измерений оказы-

вает рефракция света, вызывающая преломление световых лучей в атмосфере и являясь в кажущемся смещении удаленных объектов. Вследствие того что атмосфера является средой оптически неоднородной, лучи света распространяются в ней не прямолинейно, а по некоторой кривой линии. Для значительного снижения влияния рефракции при выполнении измерений выбирается такой период времени, когда этот эффект минимален.

По результатам предварительных расчетов было установлено, что предельные плановые поперечные расчетные смещения шпунта причальной стенки могут составлять $1/200$ [22] ($17,6 \text{ м} \times 1/200$) = 88 мм, не нарушая работоспособности причала. Приборная точность определения координат для тахеометров серии TS16A R500 1» [23] при длине визирного луча до 100–150 м составит менее $\pm 1 \text{ мм}$. Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что примененный тип оборудования, приборов, а также расположение и закрепление призм, программное обеспечение GeoMoS полностью обеспечат требуемую точность измерений для определения деформаций конструкций причальной стенки.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ, ВЫВОДЫ

Основные итоги статьи состоят в фиксации того, что система автоматизированного мониторинга работает штатно, нарушения в получении и передаче данных отсутствуют, система обеспечивает требуемую точность и периодичность измерений, позволяя прогнозировать деформационный тренд. Редкие нарушения в измерениях обусловлены исключительно внешними природно-климати-

ческими и техногенными (человеческими) факторами.

В ходе эксплуатации системы были выявлены следующие недостатки, которые требуется устранить при дальнейшем тиражировании системы.

1. Более надежно защитить деформационные марки от техногенных воздействий.

В качестве решения этой проблемы в будущем предлагается изменить конструкцию укрытия марок таким образом, чтобы отражатель был полностью скрыт. Также необходимо сделать деформационные марки легко съемными. Для этого предлагается изменить крепление самой марки к укрытию (например, использовать разборный кронштейн или стандартный геодезический штырь Wild-Leica).

2. В межсезонье при резкой смене температуры стеклянный колпак — укрытие тахеометра — запотевают изнутри.

Чтобы избежать запотевания укрытия изнутри, необходимо выполнить (изготовить) технологические отверстия для обеспечения принудительной вентиляции.

3. Рекомендуется также пересмотреть форму укрытия для тахеометра с кубической на цилиндрическую. В таком случае исчезают «слепые зоны» в углах укрытия.

Решение вышеописанных нюансов предложенными способами позволит сэкономить на закупке дополнительных расходных материалов и сократить внеплановые дополнительные трудозатраты сотрудников на обслуживание и переустановку геодезической сети, закрепленной на объекте деформационными марками.

Библиографический список

1. Гильяно А. А., Хаустова А. Е. Анализ внешнеторговых грузоперевозок морским транспортом в Российской Федерации за 2013–2017 годы // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В. Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. — 2018. — № 4 (68). — С. 56–59.
2. Абрамов А. К., Курбанов А. Х., Кручинкина Е. Н. Тенденции трансформации ведомственных систем материально-технического обеспечения в условиях нового технологического уклада и роста геополитической напряженности // Экономический вектор. — 2021. — № 3 (26). — С. 4–10.
3. ГОСТ Р 22.0.03–2020. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
4. Белый А. А., Белов А. А., Яценко А. И., Антонюк А. А. Интегральный мониторинг моста Александра Невского // Путевой Навигатор. — 2020. — № 45 (71). — С. 38–45.
5. Belyi A., Shestovitskii D., Karapetov E., Sedykh D., Linkov V. Main Solutions of Structural Health Monitoring in Managing the Technical Condition of Transport Objects // Proceedings of 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS) — P. 213–218. — 10.1109/EWDTS.2019.8884435.
6. Осадчий Г. В., Белый А. А., Ефанов Д. В., Шестовицкий Д. А. Мониторинг технического состояния раздвижной крыши стадиона «Санкт-Петербург Арена» // Строительство уникальных зданий и сооружений. — 2018. — № 6 (69). — С. 10–24. — DOI: 10.18720/CUBS.69.2.
7. Лазарев Ю. Г., Ермошин Н. А., Сенцов И. В. Планирование развития дорожной сети с учетом принципов многокритериальной оптимизации // Путевой Навигатор. — 2019. — № 38 (64). — С. 24–31.
8. Шермухамедов У. З., Собирова М. М., Калпенова З. Д., Аъзамов Н. Ф. Исследование технико-эксплуатационного состояния городских железобетонных мостов и путепроводов // Путевой Навигатор. — 2022. — № 52 (78). — С. 44–51.
9. Belyi A. A., Karapetov E. S., Efimenko Yu. S. Structural health and geotechnical monitoring during transport objects construction and maintenance (Saint-Petersburg example) // Procedia Engineering. — 2017. — Т. 189 — P. 145–151. — PII: S1877-7058(17)32145-8. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.024.
10. Sokolov S. A., Plotnikov D. G., Grachev A. A., Lebedev V. A. Evaluation of loads applied on engineering structures based on structural health monitoring data // International Review of Mechanical Engineering. — 2020. — Т. 14. — № 2. — P. 146–150.
11. Богомолова Н. Н., Брынь М. Я., Шульман Д. О., Толстов Е. Г., Никитчин А. А. Системы мониторинга деформаций объектов инфраструктуры ВСМ Москва–Казань // Путь и путевое хозяйство. — 2017. — № 9. — С. 22–24.
12. Шарафутдинова А. А., Брынь М. Я. Расчет параметров наземного лазерного сканирования промышленных объектов // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). — 2023. — Т. 28. — № 2. — С. 26–39.
13. Хиллер Б., Ямбаев Х. К. Исследование автоматизированной системы деформационного мониторинга шлюзовых камер // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2016. — № 3. — С. 33–38.
14. Коробова О. А., Максименко Л. А. Состояние вопроса мониторинга подземных конструкций на современном этапе // Интерэкспо геосибирь. — 2017. — Т. 3. — № 2. — С. 269–275.
15. Смелик А. М. О применении научных подходов к строительству и эксплуатации портовых гидротехнических сооружений // Гидротехника. — 2019. — № 1 (54). — С. 50–55.
16. Варфоломеев Ю. А., Черепанов Д. Н., Марков Ю. В. Экспертная оценка практикуемых систем геодезического мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации резервуаров с нефтью // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 6.
17. Яценко А. И., Бурцев А. В., Дорофеев А. А. Автоматизированный дистанционный мониторинг исторического памятника архитектуры – здания «Средние торговые ряды», Красная площадь, д. 5, Москва // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2011. — № 3. — С. 23–28.
18. Шестакова Е. Б., Ермилова А. В. Инженерный кейс по инвестиционному менеджменту: проект мониторинга // Путевой Навигатор. — 2020. — № 44 (70). — С. 42–49.
19. ГОСТ Р 54523–2011. Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.
20. Федеральный закон ФЗ № 384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». 30.12.2009.
21. Программное обеспечение GeoMoS Leica Geosystems. — <https://www.gfk-leica.ru>.
22. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции.
23. Описание тахеометра Leica Geosystems TS16 A R500 1». — <https://www.gfk-leica.ru>.