

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

© 2023 г. М.Ю. Федотов^{1,2}

¹Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения РАН, Россия 630090 Новосибирск,
пр-т Академика Коптюга, 1

²Российская инженерная академия, Россия 125009 Москва, Газетный пер., 9, стр. 4
E-mail: *fedotovmju@gmail.com

Поступила в редакцию 26.05.2023; после доработки 26.05.2023

Принята к публикации 09.06.2023

Рассмотрены практические аспекты создания эффективной волоконно-оптической системы мониторинга несущих конструкций инженерных сооружений, эксплуатирующихся в условиях Крайнего Севера. С учетом реальных условий эксплуатации на реальном объекте разработана конструкция измерительного устройства, в качестве чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков деформации и термокомпенсатора использовались волоконные брэгговские решетки. С учетом конструктивных параметров исследуемого свайного фундамента разработана пространственная топология и схема коммутации измерительных устройств, запущен процесс мониторинга. Показано, что разработанная система является эффективным инструментом контроля напряженно-деформированного состояния объекта мониторинга в режиме онлайн.

Ключевые слова: свайный фундамент, волоконно-оптический датчик, волоконная брэгговская решетка, измерительное устройство, мониторинг, Крайний Север.

DOI: 10.31857/S0130308223070084, **EDN:** DXITTV

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальным вопросом является обеспечение безопасности эксплуатации инженерных сооружений в районах Крайнего Севера. Дополнительный импульс к активизации работ в этом направлении придала экологическая катастрофа, связанная с разливом топлива в 2020 г. на одном из промышленных объектов в Норильском районе [1]. Одним из наиболее перспективных методов непрерывного неразрушающего контроля (НК) — мониторинга, является оптический метод, связанный с применением волоконно-оптических датчиков (ВОД), например, на основе волоконных брэгговских решеток (ВБР), позволяющий с учетом характеристик конкретного опросного оборудования осуществлять контроль деформаций с учетом термокомпенсации несущих конструкций инженерных сооружений, таких как, например, свайные фундаменты (СФ). Необходимость разработки и внедрения подобных систем на реальных объектах обусловлена как высокой степенью их износа ввиду постоянного воздействия агрессивных внешних факторов, так и проблемой растепления грунтов [2—4]. Вместе с тем применение классических методов НК (акустические, тепловые и др.) [5, 6] эффективно на этапе проведения регламентных и периодических работ для оценки качества и выявления критичных дефектов [7, 8].

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения экспериментальных исследований по оценке фактического состояния СФ с помощью волоконно-оптической системы мониторинга (ВОСМ) с целью дальнейшего прогнозирования его состояния был выбран объект мониторинга (ОМ) — здание насосной станции, эксплуатируемой в Норильском районе.

Экспериментальные исследования проводились по следующей методике:

– в соответствии с действующей нормативной базой проводилось обследование СФ с целью выбора конфигурации и оценки возможности установки ВОСМ;

– исходя из геометрических параметров СФ, состоящего из 30 свай, разрабатывались конструкции измерительных устройств (ИУ) для установки на ОМ, выбиралось коммерчески доступное устройство опроса (УО) ВОД в составе ИУ;

– разрабатывалась пространственная топология и схема коммутации ИУ (разбивка по параллельным каналам УО) на ОМ, осуществлялся монтаж и коммутация ИУ на ОМ, запускался процесс мониторинга и проводилась оценка результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты обследования ОМ (рис. 1а) показали возможность установки ИУ на сваи, имеющие высоты надземной части более 700 мм, с помощью анкерного крепления. С учетом этого обстоятельства были разработаны 2 варианта конструкции ИУ (рис. 1б) разной длины (700 и 1000 мм) на основе металлической подложки (шестигранник из прутка калиброванного по ГОСТ 10702 из стали 30ХГСА) с установленными на них ВОД деформации ASTRO A521 (2 шт.) и термокомпенсатором (ТК) на основе ВОД температуры ASTRO A512, для опроса которых было выбрано восьмиканальное УО ASTRO A313 производства ООО «Инверсия-Сенсор», г. Пермь (рис. 1в).

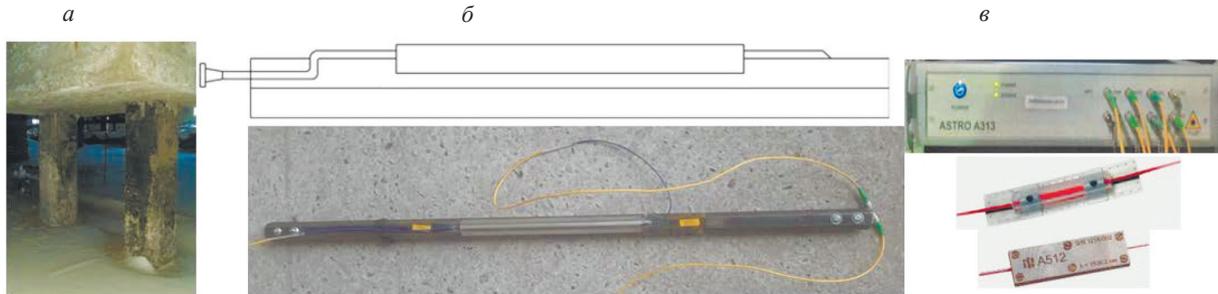


Рис. 1. Элементы ОМ и ВОСМ: ОМ (а); конструкция ИУ (б); УО, ВОД (в).

При проектировании ИУ также рассматривалась возможность изготовления подложек из углепластика и стеклопластика, однако ввиду сжатости сроков выполнения проекта и недостаточности информации о влиянии условий эксплуатации ОМ на свойства данных материалов было принято решение остановиться на серийно изготавливаемых металлических подложках [9]. С учетом фактической возможности установки ИУ была разработана пространственная топология, предполагающая установку 30 ИУ на 19 свай, а также схема коммутации из расчета 8 опросных каналов УО с учетом диапазона резонансных длин ВБР от 1510 до 1580 нм со спектральным шагом 8 нм [10].

Далее проводился мониторинг деформации СФ, экспериментальные данные по каждой свае обрабатывались по следующей методике: определялось минимальное (ϵ_{\min}), максимальное (ϵ_{\max}), среднее (ϵ_{cp}) и размах ($\Delta\epsilon = \epsilon_{\max} - \epsilon_{\min}$) значений относительной деформации с учетом термокомпенсации за период (например, за месяц), среднеквадратическое отклонение (СКО) ($S_{n-1, \epsilon}$) и коэффициент вариации (CV_{ϵ}). В табл. 1 и на рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований изменения относительной деформации сваи № 20 ОМ за месяц (15.11.2022 г. — 14.12.2022 г.).

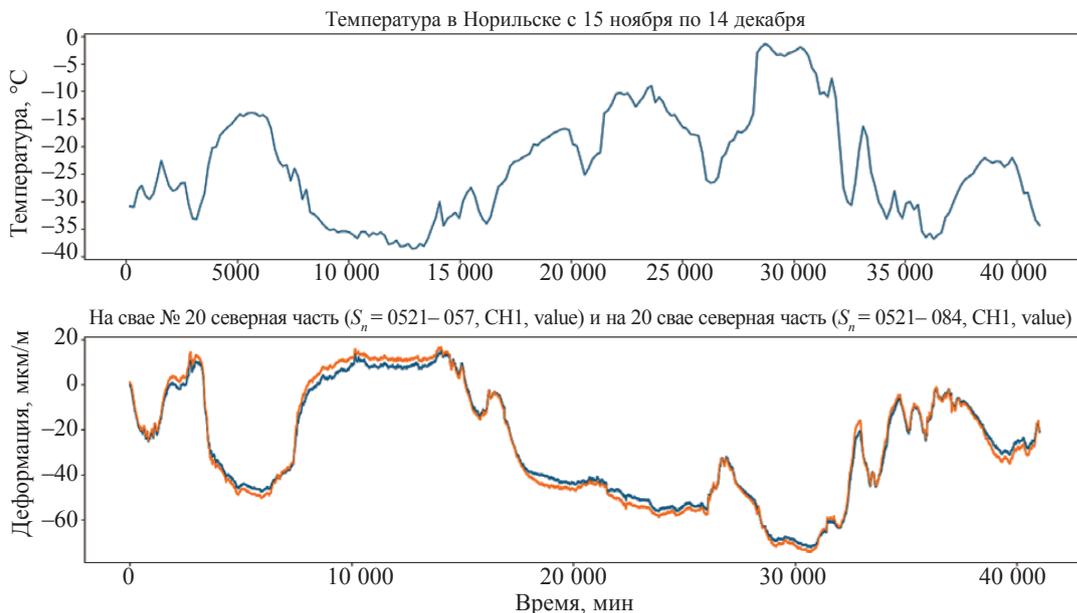


Рис. 2. Результаты мониторинга на свае № 20 ОМ (15.11.2022 — 14.12.2022).

Таблица 1

Статистика изменения деформации сваи № 20 за месяц

$\bar{\epsilon}_{\text{мес}}$, МКМ/М	$\epsilon_{\text{max мес}}$, МКМ/М	$\epsilon_{\text{min мес}}$, МКМ/М	$\Delta\epsilon_{\text{мес}}$, МКМ/М	$S_{n-1, \epsilon \text{ мес}}$, МКМ/М	$CV_{\epsilon \text{ мес}}$, %
476,235	520,942	428,38	92,5618	25,9829	5,45589

ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные результаты исследований свидетельствуют о том, что за указанный период времени наблюдается незначительное изменение деформаций сваи № 20 (не более 80 мкм/м) при колебаниях температуры от 0 до -38 °С. Похожая ситуация наблюдалась и на других сваях. Стоит отметить, что в целом ВОСМ работает в штатном режиме, данные поступают, обрабатываются и визуализируются в режиме реального времени. Стоит подчеркнуть, что процесс мониторинга с соответствующим анализом поступающих данных целесообразно проводить в течение более длительного временного интервала (полгода и больше) для определения граничных условий, характеризующихся пороговыми значениями измеряемых параметров, при которых будет наблюдаться существенно изменение несущей способности конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов А.Д., Комаров Р.С., Передера О.С. Разлив нефтепродуктов в Норильске 29 мая 2020 года: предполагаемые причины и возможные экологические последствия // Экология. Экономика. Информатика. Сер.: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2020. Т. 1. № 5. С. 173—177. DOI: 10.23885/2500-395x-2020-1-5-173-177
2. Порошина С.С. Растепление вечномёрзлых грунтов под зданиями в Норильске // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 2 (31). С. 65—70. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.11
3. Пахомов П.С. Исторический опыт геологического исследования и строительства фундаментов на примере города Норильск // Архитектура и дизайн. 2021. № 2. С. 12—19. DOI: 10.7256/2585-7789.2021.2.38153
4. Томилов С.Н., Сим А.Д., Гринев П.Е. Проблема просадок мостовых опор в условиях деградации многолетнемерзлого основания и возможность ее решения // Транспортные сооружения. 2020. Т. 7. № 3. С. 2. DOI: 10.15862/02SATS320
5. Гриценко А.А., Федин К.В., Громыко П.В. Динамический мониторинг свайных сооружений на примере Дворца культуры г. Норильска // Процессы в геосредах. 2022. № 3 (33). С. 1734—1742.
6. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Бударевич Н.А. Методика испытаний буронабивных свай сейсмоакустическим и ультразвуковым методами // Бетон и железобетон. 2022. № 2 (610). С. 20—24. DOI: 10.31659/0005-9889-2022-610-2-20-24
7. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Бударевич Н.А., Мiao J. Оценка качества буронабивных свай сейсмоакустическим и межскважинным ультразвуковым методами // Бетон и железобетон. 2022. № 4—5 (612—613). С. 52—59. DOI: 10.31659/0005-9889-2022-612-613-4-5-52-59
8. Чуркин А.А., Лозовский И.Н., Фролов В.Э., Бровиков Ю.Н. Комплексное исследование качества буронабивных свай на опытной площадке с использованием методов неразрушающего контроля // Геотехника. 2018. Т. 10. № 5—6. С. 72—83.
9. Ларин А.А., Федотов М.Ю. Исследование конструктивных параметров измерительных устройств для волоконно-оптической системы мониторинга свайных фундаментов в условиях Крайнего Севера // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 1. С. 43—50. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.01.43-50
10. Федотов М.Ю., Ларин А.А. Особенности формирования пространственной топологии волоконно-оптической системы мониторинга свайных фундаментов в условиях Крайнего Севера // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26. № 2. С. 42—51. DOI: 10.14489/td.2023.02.pp.042-051