

УДК 681.518.5:625.745.12

**ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА НА ОСТРОВ
РУССКИЙ ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ БОСФОР ВОСТОЧНЫЙ
ВО ВЛАДИВОСТОКЕ**

Д-р техн. наук, профессор **В.Н. Мячин**
(ООО «НИПИ ТРТИ»),
д-р техн. наук, профессор **Д.В. Ефанов**
(Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого (СПбПУ Петра Великого)),
канд. техн. наук **Г.В. Осадчий**
(ООО «Комплексные системы мониторинга»),
аналитик данных **М.В. Зуева**
(ПАО «Банк «Санкт-Петербург»),
аспирант **Х.Н. Вадгама**
(Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого (СПбПУ Петра Великого))
Конт. информация: TrES-4b@yandex.ru

Сообщается о характеристиках структурированной системы мониторинга, установленной на мосту на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке. Отмечается необходимость научного сопровождения получаемых системой мониторинга результатов в целях выработки рекомендаций по управлению жизненным циклом мостового сооружения. Описаны особенности анализа результатов мониторинга, полученных при помощи рассматриваемой структурированной системы мониторинга.

Ключевые слова: *структурированная система мониторинга, анализ результатов мониторинга, рекомендации по содержанию и эксплуатации мостового сооружения.*

ВВЕДЕНИЕ

На автомобильных дорогах общего пользования Российской Федерации зачастую используются уникальные технические сооружения, которые требуют к себе повышенного внимания, в особенности, в части

изменения рабочих характеристик в процессе эксплуатации. Поэтому для ряда искусственных сооружений используются структурированные системы мониторинга [1]. К таким сооружениям относятся, например, некоторые мостовые переходы.

Нормативным документом ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования (с Изменением № 1)» установлено, что критически важные объекты инфраструктуры должны оборудоваться системами мониторинга инженерных сооружений (в их состав входят и структурированные системы мониторинга, см. пункт 4.7 обозначенного выше документа). В пункте 4.9 данного стандарта указаны объекты, для которых наличие системы мониторинга является обязательным, в том числе: «объекты капитального строительства, в проектной документации которых предусмотрена хотя бы одна из следующих характеристик: высота более чем 100 м; пролеты более чем 100 м; наличие консоли более чем 20 м; заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 10 м; наличие конструкций и конструктивных систем, в отношении которых применяются нестандартные методы расчета с учетом физических или геометрических нелинейных свойств либо разрабатываются специальные методы расчета». Это полностью соотносится с рядом мостовых переходов.

Согласно пункту 7.2.10 ГОСТ Р 59200-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Мосты и трубы. Капитальный ремонт, ремонт и содержание. Технические правила», объектами мониторинга, как правило, являются следующие мостовые сооружения:

- с большими пролетами (длиной более 100 м);
- большой высоты (высота опор более 40 м);
- со сложными конструктивными решениями и особенностями (висячих или вантовых систем, совмещенных и разводных);
- эксплуатируемые в сложных инженерно-геологических, сейсмических или климатических условиях;
- после строительства, реконструкции, модернизации или ремонта, осуществленных с использованием новых технологий, конструкций и материалов;
- эксплуатируемые в аварийном состоянии, вызванном чрезвычайными обстоятельствами в период ликвидации аварийных ситуаций.

Именно поэтому ряд уникальных и стратегических мостовых переходов оборудован современными структурированными системами мониторинга, а также системами мониторинга инженерных сооружений. Например, в [2–6] описаны некоторые технические решения по данным системам, используемые на мостовых переходах в РФ.

Технологии мониторинга постоянно совершенствуются. От систем накопления и классификации данных постепенно переходят к системам, наделенным интеллектом, способным автоматически проводить диагностику, а на основании диагноза – формулировать прогнозные значения и давать оценку остаточного ресурса [7]. Анализ в предметной области представленной статьи позволяет сделать вывод о том, что наибольшего развития в части развития аналитических подсистем в составе систем мониторинга достигли зарубежные специалисты [8–11], что связано, по всей видимости, с более ранним появлением таких систем за рубежом.

Ниже рассмотрены особенности технологии анализа результатов мониторинга на уникальном техническом сооружении, реализованном в Российской Федерации – на мостовом переходе на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке.

Структурированная система мониторинга Русского моста

Мост на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке – Русский мост – к настоящему времени является самым длинным вантовым мостом в мире (рис. 1). Мост пролегает через пролив Босфор Восточный и соединяет полуостров Назимова с мысом Новосильского на острове Русский и имеет самый большой в мире пролет среди вантовых мостов длиной 1104 м. Высота моста составляет 324 м, что является второй величиной в мире.

Русский мост является, по истине, уникальным техническим сооружением, которое, согласно требованиям ГОСТ Р 59200-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Мосты и трубы. Капитальный ремонт, ремонт и содержание. Технические правила», было оборудовано структурированной системой мониторинга инженерных конструкций. Согласно п. 7.2.9 обозначенного выше нормативного документа, мониторинг состояния мостового сооружения (мониторинг моста) включает систематическое наблюдение за работой моста в эксплуатационных условиях в течение заданного существенного промежутка времени с применением специальных технических средств, а само управление осуществ-

ляют автоматизированной системой мониторинга технического состояния строительных сооружений с учетом требований ГОСТ Р 22.1.12-2005 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования (с Изменением № 1)».



Рис. 1. Мост на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке

Для мониторинга технического состояния моста в процессе эксплуатации развернута структурированная система мониторинга, оборудование которой включает 50 датчиков деформации, 88 датчиков деформации и температуры, 16 датчиков температуры, 21 акселерометр, 12 двухкоординатных инклинометров, 2 датчика перемещения и 6 датчиков давления. Для сбора диагностической информации использовано 295 измерительных каналов [12, 13].

Данные от измерительных датчиков хранятся на сервере в системе управления базами данных InterBase XE. Результаты диагностики в табличном виде вводятся в базу данных. Запись информации осуществляется с периодичностью: одно измерение в 5 с и одно измерение в 10 мин. Получение диагностических данных происходит непрерывно следующими друг за другом блоками данных, содержащими последовательности заданной продолжительности отсчетов группы каналов. Разбиение

непрерывного потока данных на блоки (или объединение мгновенных отсчетов в блоки) позволяет организовать рабочий цикл обработки данных, осуществляемый параллельно их сбору с небольшой задержкой на выполнение алгоритмов обработки. В то же время непрерывное следование блоков данных друг за другом обеспечивает сохранение без потерь всей информации, касающейся результатов измерений.

Проектная документация по эксплуатации Русского моста во Владивостоке содержит том 8, а именно сборник технологических регламентов на соответствующие работы. В данный том включены следующие подразделы:

- содержание тома;
- состав рабочей документации;
- пояснительная записка;
- схемы расположения датчиков;
- схемы связи;
- структурные схемы подсистем системы мониторинга.

Согласно Тому 8 «Сборник технологических регламентов на работы по содержанию оборудования системы мониторинга (СМСКМ, АСУДД, КСБ, ПАКСМ)¹», срок ввода в эксплуатацию мостового перехода – 1 июля 2012 г., при этом предусматривается его содержание в рамках государственного контракта на 12-летний период.

Мероприятия по содержанию электрооборудования системы мониторинга должны выполняться круглогодично вне зависимости от сезона, так как обеспечивают безопасность проезда автотранспорта, охрану и долговечность конструкций мостового перехода.

Объемы работ по содержанию оборудования системы мониторинга мостового перехода определены в соответствии техническими решениями рабочей документации. Нормативные объемы работ определены на каждый год финансирования объекта в течение 12 лет.

Система мониторинга предназначена для наблюдения за условиями работы и поведением конструкций моста с целью обеспечения сохранения его функциональных потребительских свойств путем решения следующих задач:

- измерение параметров работы моста, характеризующих его напряженно-деформированное состояние, температуру, усилия и реакции в элементах);

¹ СМСКМ – система мониторинга состояния конструкций моста; АСУДД – автоматизированная система управления дорожным движением; КСБ – комплексная система безопасности; ПАКСМ – программно-аппаратный комплекс системы мониторинга.

- измерение параметров работы моста, характеризующих его колебания;
- измерение параметров работы моста, характеризующих его пространственное положение и форму конструкций;
- измерение параметров, характеризующих метеорологические условия (температура, направление и скорость ветра, влажность, осадки и т.п.);
- измерение параметров, характеризующих сейсмические условия;
- получение от КСБ видеоданных;
- получение от АСУДД данных весового контроля;
- поддержание внутри СМКСМ времени, соответствующего часам единого времени системы мониторинга;
- оценка внешних нагрузок, действующих на мост (временных подвижных нагрузок, ветровых нагрузок, перемещений опор, сейсмических и тектонических воздействий);
- оценка нахождения контролируемых параметров в пределах заданных допусков безопасности и выдача предупреждения в случае несоответствия;
- передача в АСУДД и КСБ данных о безопасности эксплуатации моста и комфортности для пользователей;
- накопление и хранение получаемых данных;
- формирование протокола происшествий на мостовом переходе.

В состав СМКСМ на Русском мосту включены следующие подсистемы:

- подсистема сбора информации;
- подсистема передачи информации;
- подсистема обработки информации.

Средствами подсистемы сбора информации выполняется следующее:

- измерения параметров работы моста, характеризующих его напряженно-деформированное состояние, температуру, усилия и реакции в элементах, колебания моста;
- измерения параметров, характеризующих его пространственное положение и форму конструкции;
- измерения параметров, характеризующих метеорологические условия (температура воздуха, влажность, скорость и направление ветра и т.д.).

В составе *подсистемы сбора информации* используются такие основные технические средства, как:

- первичные преобразователи (датчики):
 - датчики деформации, датчики температуры и т. п., установленные на конструкциях моста и разнесенные на большие расстояния;
- вторичные преобразователи:
 - усилительно-коммуникационные устройства;
 - устройства сбора информации;
 - автоматические метеостанции и другие, реализующие согласование сигналов подключенных к ним датчиков, их оцифровку и передачу для дальнейшей обработки в подсистему передачи информации;
- спутниковые приемники, обеспечивающие измерение, согласование и передачу сигналов в подсистему передачи информации непосредственно без дополнительных устройств.

Подсистема передачи информации обеспечивает обмен информацией между подсистемами сбора и обработки, а также между СМСКМ и системами ПАКСМ, АСУДД и КСБ. Основу подсистемы передачи информации составляют телекоммуникационные устройства – коммутаторы, расположенные на мостовых конструкциях в узлах мониторинга и в центре управления мониторингом.

Подсистема обработки информации реализована на базе персональных компьютеров (серверов), установленных в центре управления мониторингом, в том числе:

- сервер оперативных измерений;
- сервер группы геодезического контроля/группы метеорологического контроля;
- сервер хранения данных;
- промышленный компьютер в составе устройства (блока) сбора данных группы контроля вант;
- компьютер реального времени в составе устройства (блока) сбора данных.

С точки зрения эксплуатации, все оборудование системы мониторинга условно можно разделить на пять групп:

- оборудование группы контроля напряженно-деформированного состояния конструкций моста / группы контроля колебаний;
- оборудование группы геодезического контроля;
- оборудование группы метеорологического контроля;
- оборудование группы контроля вант;

- оборудование подсистемы обработки информации.

Анализ данных, полученных при помощи структурированной системы мониторинга

Система мониторинга позволяет осуществлять сбор достаточно большого объема информации примерно от 300 датчиков, что требует своевременного анализа получаемых данных. Ниже дано описание технологии выполнения процессов обработки результатов мониторинга.

Рассмотрим пример анализа данных от группы контроля напряжённо-деформированного состояния и группы геодезического контроля.

Выгрузка данных от этой группы контроля в системе мониторинга производится непосредственно из базы данных системы мониторинга. Само подключение выполняется через VPN-соединение. Подключение к базе и выгрузка из нее данных реализованы с помощью скрипта на языке Python. Данные, как отмечалось ранее, хранятся в базе InterBase, поэтому для подключения к ней используется ODBC-драйвер (Firebird/InterBase(r) driver). Параметры подключения к базе хранятся в файле-конфигураторе, откуда считываются скриптом перед подключением.

Данные считываются потаблично за необходимый период (для отчетов это, как правило, календарный месяц, период задается с помощью SQL-запроса) в pandas.DataFrame, а из него записываются скриптом в файл Excel (данные предоставляются вместе с отчетом). По выгруженным данным строятся графики согласно принятой форме отчета (рис. 2).

Так как в получаемых данных имеются «выбросы», необходима их выборка путем фильтрации. С этой целью использовали модель фильтрации при помощи библиотеки Forecast на языке R², применяя функцию tsoutliers()³ из указанной библиотеки [12, 13].

² R – это интерпретируемый объектно-ориентированный язык программирования с открытым исходным кодом, созданный для статистической обработки данных и в настоящее время использующийся для обработки и анализа данных. Экосистема R состоит из самого языка, фреймворка, а также среды запуска программ. Дополнительные пакеты создаются пользователями языка. Для данной задачи запуск осуществлялся в Jupiter Notebook.

³ Функция tsoutliers() из библиотеки Forecast представляет собой автоматическую процедуру обнаружения выбросов временного ряда. Процедура разлагает временной ряд на компоненты тренда, сезонности и остатка: $y_t = T_t + S_t + R_t$. Сначала удаляется любая сезонность и тенденция в данных, а затем находятся выбросы в оставшихся рядах, R_t .

Кроме того, на основе отфильтрованных данных создаются графики для проверки эффективности использования модели фильтрации применительно к новым данным. Следует отметить, что отфильтрованные данные необходимы для более точных определений различных агрегированных и прогнозных значений.

На **рис. 3** представлены данные, полученные до фильтрации.

Данные после фильтрации позволяют получить уже более наглядное представление об измеренных параметрах (**рис. 4**).

Затем «сырые» и отфильтрованные данные добавляются в сводную таблицу общей оценки, пример которой представлен на **рис. 5**.

В таблице (**рис. 5**) отражены измеряемые параметры, данные о месторасположении на пролетном строении, имя (название) датчика в отчетной и рабочей документациях, единицы измерения, а также рассчитанные для каждого датчика максимальное, минимальное, среднее значение и среднеквадратическое отклонение как для измеренных, так и для отфильтрованных данных. Кроме того, в таблицу добавлены значения контрольных диапазонов (предупредительный и тревожный уровни) и формулы пересчета для косвенных значений. Производится сравнение высчитанных значений напряжения и данных по контрольным диапазонам из рабочей документации, на основании которого выводится сообщение о состоянии измерения («в пределах КД⁴», «в пределах КД пред» или «превышение тревожного уровня») и соответствующее цветовое обозначение.

При этом в отчет включают данные от группы контроля напряжённо-деформированного состояния и группы геодезического контроля, которые выгружаются с сервера в виде XML-файлов. Эти данные не экспортируются из базы данных, фильтрация по ним не производится. После выгрузки информация записывается в файлы Excel, через Python скрипт и используется для построения графиков (**рис. 6**).

⁴ КД – контрольный диапазон.

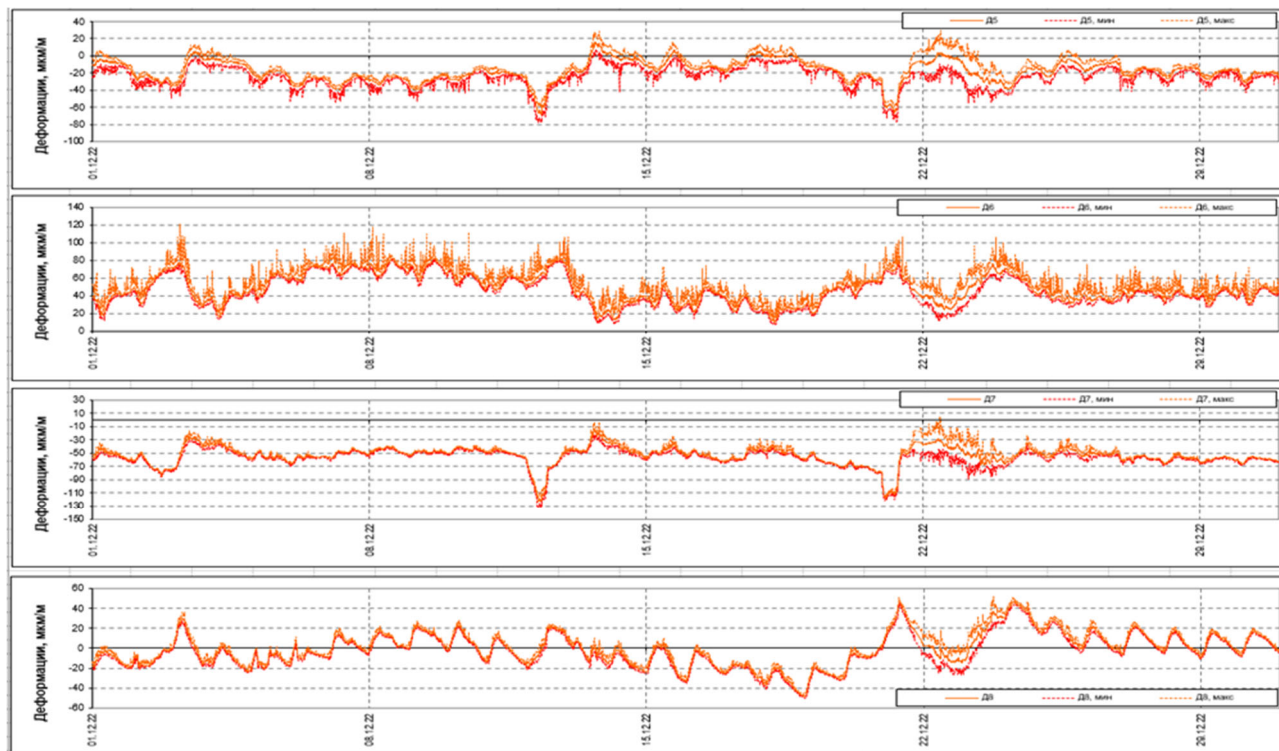


Рис. 2. Графики, полученные по данным от датчиков деформации

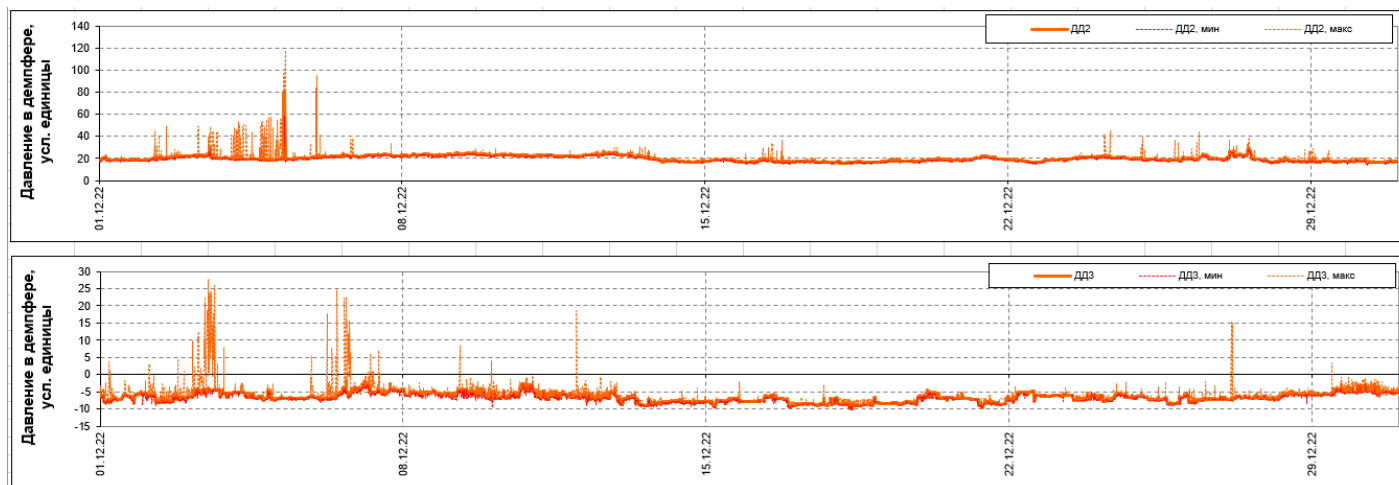


Рис. 3. Графики, полученные по данным от датчиков деформации (до фильтрации)



Рис. 4. Графики, полученные по данным от датчиков деформации (после фильтрации)

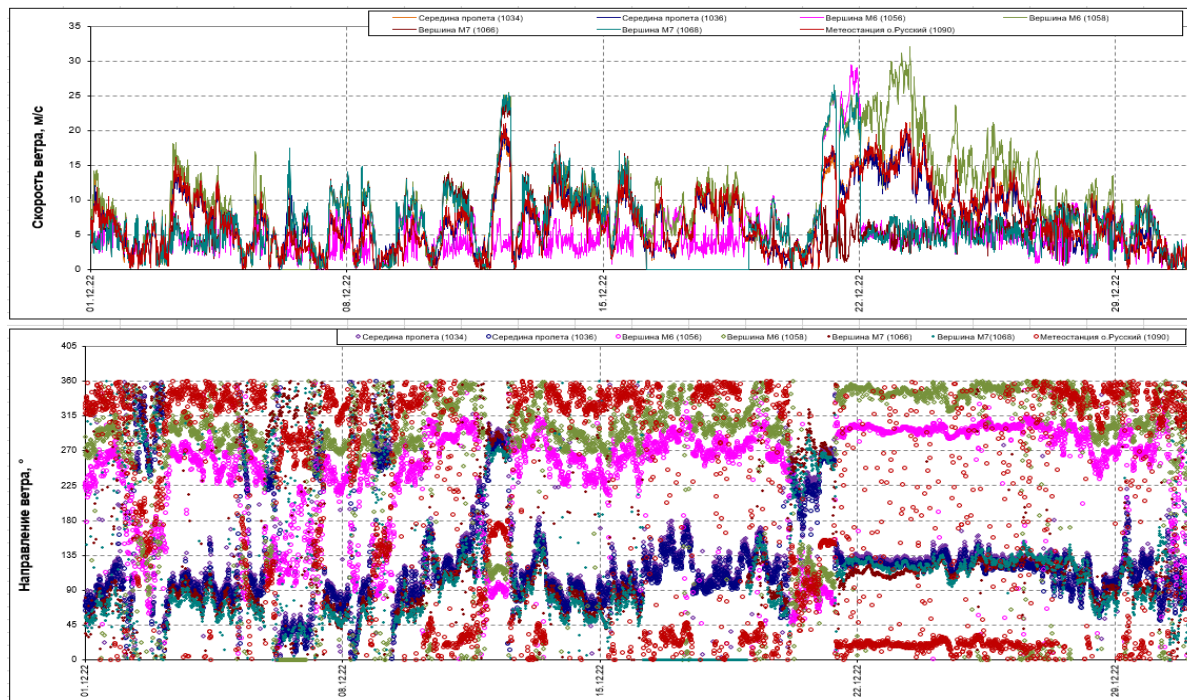


Рис. 6. Графическое представление данных, получаемых непосредственно с сервера

Пилон М7

Нормальные напряжения

Приложение 1

Таблица 1.4

№ п/п	Контроль рулевого параметра	Местоположение и пролетный строение	Панель	дата датч.	инст. датчик РД	ед. изм.	2022 декабрь				2022 декабрь_фильтрованные данные				из РД			из СММ			файл xls		Отчет за декабрь 2022.pdf				Сравнение с КД РД	Сравнение с КД СМ	Формула расчета (ссылка + инструкция)			
							max	min	ave	сред.кв.ад	max	min	ave	сред.кв.ад	КД пред	КД трев	КД пред С	КД трев С	max	min	max	min	max	min	икс файла	икс листа				стр.	Рис.	таблиц
347	Угол поворота	пилон М6	орядки и верхняя переключ	M6S2S3 (P211)	MRP211	град	3	-3	0	0	2	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	превышения траекторного уровня	неопределенно изв		
348	Угол поворота	пилон М6	орядки и верхняя переключ	M6S2S3 (P212)	MRP212	град	3	-3	0	0	2	-2	0	0	0	3	-4	3	-4									0	в пределах КД пред	неопределенно изв		
349	Угол поворота	пилон М6	орядки и верхняя переключ	M6S2S3 (P311)	MRP311	град	3	-7	-1	0	3	-6	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	превышения траекторного уровня	неопределенно изв			
350	Угол поворота	пилон М6	орядки и верхняя переключ	M6S2S3 (P312)	MRP312	град	3	-3	0	0	2	-2	0	0	0	4	-3	4	-3									0	в пределах КД пред	неопределенно изв		
351	Деформации	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (J1)	MRP1J1	мм/м	117	-100	6	47	117	-100	6	47																неопределенно изв		
352	Деформации	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (J2)	MRP1J2	мм/м	-275	-580	-408	62	-275	-514	-407	60																неопределенно изв		
353	Деформации	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (J3)	MRP1J3	мм/м	-24	-112	-72	16	-24	-112	-72	16																неопределенно изв		
354	Деформации	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (J6)	MRP1J6	мм/м	75	-197	-35	52	75	-197	-35	52																неопределенно изв		
355	Температура	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (T1)	MRP1DT1	°C	24	11	17	3	24	11	17	3																неопределенно изв		
356	Температура	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (T2)	MRP1DT2	°C	29	14	21	3	29	14	21	3																неопределенно изв		
357	Температура	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (T5)	MRP1DT5	°C	27	15	21	3	27	15	21	3																неопределенно изв		
358	Температура	пилон М6	металлическая перемычка, левая сторона	M6SL1DP (T6)	MRP1DT6	°C	25	15	20	2	25	15	20	2																неопределенно изв		
359	Напряжения	пилон М6	нет пар.лев. ст	M6SL1TP (S1)	MRP1S1	атмос	-403	-360	-537	89	-403	-360	-537	89	845	-882	1028	-1079	1141	-3880	1151	-4750							в пределах КД	в пределах КД	555,2 t-MRP1S1	
360	Напряжения	пилон М6	нет пар.лев. ст	M6SL1TP (S2)	MRP1S2	атмос	-390	-1570	-1210	131	-390	-1431	-1207	127	123	-119	127	-118	130	-1392	-25	-1861								превышения траекторного уровня	в пределах КД пред	325,2 t-MRP1S2
361	Напряжения	пилон М6	нет пар.лев. ст	M6SL1TP (S5)	MRP1S5	атмос	-274	-365	-713	35	-274	-365	-713	35	343	-360	1015	-1100	1183	-3444	1154	-2046							в пределах КД	в пределах КД	222,2 t-MRP1S5	
362	Напряжения	пилон М6	нет пар.лев. ст	M6SL1TP (S6)	MRP1S6	атмос	-190	-792	-423	109	-190	-762	-423	109	120	-126	128	-132	-31	-1356	-25	-1976								превышения траекторного уровня	в пределах КД	348,2 t-MRP1S6
363	Деформации	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (J1)	MRP1J1	мм/м	-124	-5307	-182	25	-124	-5285	-181	25																неопределенно изв		
364	Деформации	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (J4)	MRP1J4	мм/м	-33	-8827	-104	28	-33	-8795	-104	28																неопределенно изв		
365	Деформации	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (J7)	MRP1J7	мм/м	225	-17498	74	65	225	-1211	74	65																неопределенно изв		
366	Деформации	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (J8)	MRP1J8	мм/м	25	-17479	-39	11	-11	-73	-39	11																неопределенно изв		
367	Температура	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (T3)	MRP1DT3	°C	26	14	21	3	26	14	21	3																неопределенно изв		
368	Температура	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (T4)	MRP1DT4	°C	31	14	24	4	31	14	24	4																неопределенно изв		
369	Температура	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (T7)	MRP1DT7	°C	28	13	20	3	28	13	20	3																неопределенно изв		
370	Температура	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (T8)	MRP1DT8	°C	29	17	23	3	29	17	23	3																неопределенно изв		
371	Напряжения	пилон М6	нет пар. прав. ст	M6SL1TP (S3)	MRP1S3	атмос	-911	-12580	-1031	80	-911	-1146	-1031	80	624	-873	1058	-1048	1160	-3736	1176	-4763							превышения траекторного уровня	превышения траекторного уровня	408,2 t-MRP1S3	

Рис. 5. Сводная таблица аналитических данных

ВЫВОДЫ

Анализ результатов мониторинга позволяет сформулировать рекомендации к дальнейшей эксплуатации Русского моста. При этом подготавливается заключение на основе данных системы мониторинга относительно степени устойчивости вантово-балочной конструкции климатическим воздействиям (изменение температуры или направления и силы ветра) с учетом имеющихся дефектов самого сооружения. Осуществляется оценка механического напряжения и деформации, а также динамических параметров по данным акселерометров и метеостанций. Проводится сравнительная оценка данных по каждому из датчиков за выбираемый период анализа, как правило, составляющий один месяц. Затем вырабатываются рекомендации к содержанию и эксплуатации мостового сооружения.

Наличие подсистем аналитики в системах мониторинга закреплено в ГОСТ Р 59943-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Системы мониторинга мостовых сооружений. Правила проектирования». Однако не определено то, какие необходимы инструменты анализа и какова глубина аналитики данных. Требования к обработке результатов мониторинга также должны быть закреплены на нормативном уровне.

В заключение следует отметить, что научное сопровождение является важным этапом эксплуатации структурированных систем мониторинга, позволяющих качественно интерпретировать результаты мониторинга и вырабатывать рекомендации к управлению жизненным циклом мостового сооружения с учетом имеющихся дефектов и вызываемых ими рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andersen J.E., Vesterinen A. *Structural Health Monitoring Systems*. – Denmark, COWI A/S, 2006. – 125 p.
2. Belyi A., Shestovitskii D., Myachin V., Sedykh D. *Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13-16, 2019, pp. 201-206, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.*
3. Белый А.А. Интегральный мониторинг моста Александра Невского / А.А. Белый, А.А. Белов, А.И. Яценко, Антонюк А.А. // *Путевой навигатор*. – 2020. – №45 (71). – С. 38-45.

4. Аганов И.А. Система структурированного мониторинга на автомобильном мосту через реку Обь вблизи Сургута / И.А. Аганов, Г.В. Осадчий, Д.В. Ефанов, М.В. Киселёв, А.С. Каллистов // Мир дорог. – 2021. – № 139. – С. 108-110.
5. Аганов И.А. Система мониторинга инженерных конструкций на Пуровском мосту / И.А. Аганов, Г.В. Осадчий, Д.В. Ефанов, О.В. Мирошниченко, В.Ю. Кубрак // Транспорт Российской Федерации. – 2021. – № 5-6. – С. 47-51.
6. Мячин В.Н. Системы мониторинга Крымского моста / В.Н. Мячин, Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2022. – № 5 (100). – С. 79-81.
7. Myachin V., Efanov D., Osadchy G., Aganov I., Khoroshev V. Architecture of a Universal Monitoring System for Transport Infrastructure Facilities // Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Vol. 1, Cracow, Poland, September 22-25, 2021, pp. 438-443, doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660848.
8. Andersen J.E., Rex S. Structural Health Monitoring of Henry Hudson I89 // IABSE Congress: The Evolving Metropolis, New York, NY, USA, 4-6 September 2019, published in the Evolving Metropolis. – 2019. – Pp. 2120-2130.
9. Sun D.L., Shang Z., Xia Y., Bhowmick S., Nagarajaiah S. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection // Journal of Structural Engineering, 2020, 146 (5): 04020073, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.
10. Kwon T.H., S.H. Park, S.I. Park, Lee S.-H. Building Information Modeling-Based Bridge Health Monitoring for Anomaly Detection under Complex Loading Conditions Using Artificial Neural Networks // Journal of Civil Structural Health Monitoring, 2021, 11 (3), DOI: 10.1007/s13349-021-00508-6.
11. Cury A., Ribeiro D., Ubertini F., Todd M. Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques // Springer International Publishing, 2022, Vol. 21, XVIII+474 p., doi: 10.1007/978-3-030-81716-9.
12. Ефанов Д.В. Выбор способа фильтрации диагностических данных в системах непрерывного мониторинга объектов транспортной инфраструктуры / Д.В. Ефанов, В.Н. Мячин, Г.В. Осадчий,

М.В. Зуева // Транспорт Российской Федерации. – 2020. – № 2. – С. 35-40.

13. Efanov D., Myachin V., Osadchiy G., Zueva M. Filtration of Diagnostic Data for Retrospective Analysis in Health Monitoring Systems of Engineering Structures // *Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2020), Varna, Bulgaria, September 4-7, 2020*, pp. 189-196, doi: 10.1109/EWDTs50664.2020.9224797.

L I T E R A T U R A

1. Andersen J.E., Vesterinen A. *Structural Health Monitoring Systems*. – Denmark, COWI A/S, 2006. – 125 p.
2. Belyi A., Shestovitskii D., Myachin V., Sedykh D. Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity // *Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2019), Batumi, Georgia, September 13-16, 2019*, pp. 201-206, doi: 10.1109/EWDTs.2019.8884382.
3. Belyj A.A. Integral'nyj monitoring mosta Aleksandra Nevskogo / A.A. Belyj, A.A. Belov, A.I. Yashchenko, Antonyuk A.A. // *Putevoj navigator*. – 2020. – № 45 (71). – С. 38-45.
4. Aganov I.A. Sistema strukturirovannogo monitoringa na avtodorozhnom mostu cherez reku Ob'vblizi Surguta / I.A. Aganov, G.V. Osadchij, D.V. Efanov, M.V. Kiselyov, A.S. Kallistov // *Mir dorog*. – 2021. – № 139. – С. 108-110.
5. Aganov I.A. Sistema monitoringa inzhenernykh konstrukcij na Purovskom mostu / I.A. Aganov, G.V. Osadchij, D.V. Efanov, O.V. Miroshnichenko, V.YU. Kubrak // *Transport Rossijskoj Federacii*. – 2021. – № 5-6. – С. 47-51.
6. Myachin V.N. Sistemy monitoringa Krymskogo mosta / V.N. Myachin, D.V. Efanov, G.V. Osadchij // *Dorogi Sodruzhestva Nezavisimyh Gosudarstv*. – 2022. – № 5 (100). – С. 79-81.
7. Myachin V., Efanov D., Osadchy G., Aganov I., Khoroshev V. Architecture of a Universal Monitoring System for Transport Infrastructure Facilities // *Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Vol. 1, Cracow, Poland, September 22-25, 2021*, pp. 438-443, doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660848.

-
8. Andersen J.E., Rex S. *Structural Health Monitoring of Henry Hudson 189 // IABSE Congress: The Evolving Metropolis, New York, NY, USA, 4-6 September 2019, published in the Evolving Metropolis. – 2019. – Pp. 2120-2130.*
 9. Sun D.L., Shang Z., Xia Y., Bhowmick S., Nagarajaiah S. *Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection // Journal of Structural Engineering, 2020, 146 (5): 04020073, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.*
 10. Kwon T.H., S.H. Park, S.I. Park, Lee S.-H. *Building Information Mod-eling-Based Bridge Health Monitoring for Anomaly Detection under Complex Loading Conditions Using Artificial Neural Networks // Journal of Civil Structural Health Monitoring, 2021, 11 (3), DOI: 10.1007/s13349-021-00508-6.*
 11. Cury A., Ribeiro D., Ubertini F., Todd M. *Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques // Springer International Publishing, 2022, Vol. 21, XVIII+474 p., doi: 10.1007/978-3-030-81716-9.*
 12. Efanov D.V. *Vybor sposoba fil'tracii diagnosticheskikh dan-nyh v sistemah nepreryvnogo monitoringa ob"ektov transportnoj infrastruktury / D.V. Efanov, V.N. Myachin, G.V. Osadchij, M.V. Zueva // Transport Rossijskoj Federacii. – 2020. – № 2. – S. 35-40.*
 13. Efanov D., Myachin V., Osadchij G., Zueva M. *Filtration of Diagnostic Data for Retrospective Analysis in Health Monitoring Systems of Engineering Structures // Proceedings of 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2020), Varna, Bulgaria, September 4-7, 2020, pp. 189-196, doi: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224797.*

.....

**TECHNOLOGY FOR THE MONITORING RESULTS ANALYSIS
WHEN OPERATING THE BRIDGE CROSSING TO RUSSKY ISLAND
ACROSS THE EASTERN BOSPORUS STRAIT IN VLADIVOSTOK**

*Doctor of Engineering, Professor V.N. Myachin,
(«NIPI TRTI» LLC)*

*Doctor of Engineering, Professor D.V. Efanov
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University),*

*Ph. D. (Tech.) G.V. Osadchiy
(«Integrated Monitoring Systems» LLC),*

*data analyst M.V. Zueva
(PJSC «Bank Saint-Petersburg»),*

*Graduate student H.N. Vatgama
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)*

Contact information: TrES-4b@yandex.ru

The article describes some features of the structured monitoring system installed on the bridge to Russky island across the Eastern Bosphorus strait in Vladivostok. The need for scientific support of the results obtained by the monitoring system is highlighted in order to make recommendations for managing the bridge structure life cycle. The monitoring results analysis peculiarities obtained by the reviewed monitoring system are described.

Key words: *structured monitoring system, monitoring results analysis, recommendations for the bridge structure maintenance and operation.*

Рецензент: канд. техн. наук В.А. Селиверстов (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 13.02.2023 г.

