

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано экспертами Комиссией ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 12 – 14 сентября 2017 г.,
Республика Молдова, г. Кишинев

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 24 – 26 октября 2017 г.

Комитет ОСЖД, г. Варшава, Республика Польша

Дата вступления в силу: 26 октября 2017 г.

P 777

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

1. Цель рекомендации

Целью «Рекомендаций по мониторингу искусственных сооружений» является обобщение возможности использования современных средств и систем мониторинга, которые поддерживают традиционную, в основном визуальную проверку железнодорожных мостов и других искусственных сооружений, интегрируя, систематизируя и осуществляя специальные мероприятия по мониторингу.

Требования относительно характеристик состояния, параметров, применяемых приборов, оборудования, системы сбора и обработки данных для систем мониторинга определяет организация, управляющая железнодорожной инфраструктурой.

2. Понятие мониторинга состояния конструкции

Мониторинг состояния конструкции - это процесс выполнения наблюдения и оценки повреждений (Structural Health Monitoring – SHM).

Повреждение - это отрицательно влияющие на производительность конструкции материала и/или геометрические изменения, в том числе изменения граничных условий и непрерывности системы.

Мониторинг состояния конструкции означает наблюдение и оценку системы в реальном времени, который состоит из следующих этапов:

- периодический отбор динамической реакции системы путем считывания показаний с установленных датчиков, Статистический анализ этих характеристик для определения текущего состояния конструкции.

Долгосрочный мониторинг состояния конструкции (Long term Structural Health Monitoring – LSHM) основан на регулярном обновлении результатов этого процесса, целью которого является ответить на вопрос, способна ли система обеспечить свою первоначальную функцию, несмотря на ухудшение состояния в связи с неизбежным старением, условиями эксплуатации и нагрузками.

После чрезвычайных событий (например, землетрясения, техногенные катастрофы) мониторинг обеспечивает быстрый контроль и проверку состояния системы, а также возможность получения практически в реальном времени достоверной информации о работоспособности и целостности конструкции.

Предпочтительно первым шагом любой деятельности мониторинга состояния является запись и документирование состояния, например:

- Определение механических свойств конструкционных материалов (особенно для старых конструкций);
- Оценка или измерение усталостного состояния конструкционных материалов на основе предыдущих нагрузок и/или испытаний материалов образцов;
- Выявление дефектов материала, дефекты (например, трещины, изломы);

В общем, необходимо записывать эксплуатационное, исходное поведение и свойства материалов конструкции, по сравнению которых могут быть оценены изменения и тенденции, наблюдаемые во время мониторинга. состояния.

Основанная на методике мониторинга Оценка Состояния Конструкции - (Structural Health Assessment – SHA) это процедура, которая становится все более широко используемой в надзоре различных элементов инфраструктуры. Значение процедуры в основном проявляется при оценке конструктивных повреждений, что требует знания процесса, приводящего к повреждению. Этапы процесса:

- обнаружение наличия повреждений конструкции,
- локализация повреждения,
- определение характера повреждения,
- количественная оценка серьезности повреждений.

3. Надзор искусственных сооружений

Согласно инструкции по надзору пути под Надзором искусственных сооружений подразумевается комплексная система, в которую входят:

- Паспортизация (по искусственным сооружениям и надзору искусственных сооружений),
- Осмотры,
- Периодические обследования и специальное испытание,
- Целевые обследования,
- Нагрузочное целевое испытание,
- Испытания перед вводом в эксплуатацию и приемкой в постоянное пользование,
- Пробная нагрузка,
- Применение системы мониторинга на основе диагностических методов,

текущее содержание

Основной целью надзорной деятельности является выявление исходного или эксплуатационного состояния искусственных сооружений, выявление возможных недостатков и дефектов, а также оценка состояния и обнаруженных повреждений. В этом смысле различные контрольные и испытательные действия искусственных сооружений, выполненные в вышеупомянутой системе, представляют собой различные уровни Мониторинга состояния конструкции (SHM).

Ожидания относительно регулярности, детализации методов и средств, которые будут использоваться лицами с различной квалификацией и опытом, будут урегулированы в соответствии с уровнем данной надзорной деятельности.

Наиболее распространенным и наиболее очевидным методом обнаружения и оценки повреждений является визуальный осмотр. Преимущество этого метода заключается в том, что он предоставляет информацию о потенциальном повреждении на месте и мгновенную информацию с небольшими материальными затратами, но серьезным недостатком является то, что он применим только к доступным местам и визуально воспринимаемым дефектам, и обеспечивает очень субъективные и непроверяемые позднее результаты. Неопределенность может быть значительно уменьшена за счет использования подходящих ручных инструментов, измерительных приборов, средств визуализации (фото, видео).

На основании ожиданий относительно контроля и ожидаемых результатов (например, комплексности, точности, регулярности), могут быть задействованы дополнительные методы, такие как:

- Целевое исследование краткосрочно установленными измерительными приборами (классическая SHM),
- Целевое нагрузочное испытание или пробная загрузка,
- Неразрушающие и разрушающие испытания конструкций и материалов,
- Различные лабораторные исследования,
- Статический пересмотр,
- Применение **системы мониторинга (LSHM)**, построенной на основе методов диагностики с использованием приборов долгосрочного действия.

4. Возможные уровни надзора и оценки искусственных сооружений

4.1. Осмотр

Целью периодических осмотров (инспекций), осуществляемых обходчиками железнодорожных путей и искусственных сооружений, проведенных раз в неделю, является определение наличия опасных для движения неисправностей и недостатков в пути, на искусственных сооружениях.

4.2. Обследования I степени

Целью периодических осмотров (инспекции), осуществляемых раз в году путевым мастером, старшим путевым мастером, участковым путевым инженером является выявление бросающихся в глаза, возникающих в процессе работы изменений состояния, убедиться в безопасном состоянии искусственного сооружения и его окрестностей.

4.3. Обследования II степени

Осуществляются раз в году специалистом (мостовым мастером, старшим мостовым мастером, мостовым инженером) путем осмотра (инспекции) обследования, распространенного на все видимые элементы конструкции моста. К обследованию - при необходимости - также могут применяться ручные средства контроля (например, молоток, рулетка).

4.4. Обследования III степени

Осуществляются раз в 5 или 10 лет мостовым инженером комплексные обследования всех конструктивных элементов искусственного сооружения. Исследование - если мостовой инженер сочтет это необходимым, и это обосновывается состоянием и возрастом объекта - можно дополнить целевым обследованием, целевым испытанием на нагрузку и/или применением системы мониторинга.

4.5. Внеочередные обследования

Обследование, основанное на конкретном распоряжении, которое не является регулярным, вызванное техническим состоянием искусственного сооружения и/или чрезвычайным событием.

4.6. Обследование для окончательного принятия решений

Индивидуальное обследование, выполненное в основном при помощи визуального контроля и при необходимости, статическим нагружением с целью поддержки принятия решения о дальнейшей судьбе существующих искусственных сооружений (например, эксплуатация с техническим обслуживанием/укреплением или реконструкцией), и/или определение условий дальнейшей эксплуатации.

4.7. Целевые обследования

Как правило, это частичное обследование, дополняющее регулярные и индивидуальные обследования, выполняемые измерительными средствами, приборами, которое предназначено для обнаружения и регистрации состояния, характеристик (например, качества материала), конкретного конструкционного элемента (стальная балка мостового полотна, несущий шов, сечение русла и т.д.) или его поведения (например, деформации главной несущей конструкции под нагрузкой, перемещения опорной части).

4.8. Испытательная целевая нагрузка

Специальная целевая нагрузка, которая служит для того, чтобы убедиться, отвечают ли искусственное сооружение и его конструкционные элементы требованиям по несущей способности и/или удобства использования. Кроме того, во время испытания контролируется и проверяется поведение конструкции под нагрузкой (прогиб, изменения внутреннего напряжения).

4.9. Применение системы мониторинга, основанной на диагностических методах

Дополнительные регулярные осмотры, обследования искусственных сооружений система, которая постоянно - или по крайней мере, в долгосрочной перспективе – при помощи установленных приборов, предоставляет информацию о состоянии и изменении напряженного состояния конкретного конструкционного элемента искусственного сооружения.

4.10. Испытание перед вводом в эксплуатацию и приемкой в постоянное пользование

Испытание новых и проходивших интервенции—реконструкцию с изменением ширины, пролета и несущей способности несущих элементов искусственных сооружений, целью которых является продемонстрировать

пригодность объекта для его использования по назначению, а также регистрация исходного состояния завершеного объекта. Для железнодорожных мостов – в зависимости от конструкционного исполнения и длины пролета – должны дополняться нагрузочным испытанием.

4.11. Испытательное нагружение

Испытание новых и проходивших реконструкцию с изменением ширины, пролета и несущей способности несущих элементов искусственных сооружений, предоставляет информацию о поведении конструкции под нагрузкой, подтверждает отвечают ли искусственное сооружение и его конструкционные элементы требованиям несущей способности и/или использования.

Однако под Мониторингом состояния конструкции подразумевается только применение системы мониторинга, основанной на выполненной при помощи краткосрочно (SHM) или долгосрочно установленных (LSHM) приборов деятельности целевых обследований и пробных нагружений, а также на диагностических методах.

5. Роль мониторинга состояния конструкции

Самым простым и, как правило, наиболее эффективным способом надзора искусственных сооружений это визуально выполненное обследование (инспекция), что дает быстрый, хотя и субъективный, результат о повреждениях и дефектах, видимых невооруженным глазом. Надежность, объективность метода, и полезность результатов значительно облегчит применение различных вспомогательных технологий, таких как изготовление статичных или динамических съемок, создание базы данных, систематизирующих и определяющих дефекты, типы дефектов и т.д.

Инспекция может дополняться краткосрочным целевым обследованием, выполненным при помощи датчиков и краткосрочно установленных приборов, пригодных для измерения различных физических характеристик (классический SHM), а также нагрузочными испытаниями или долгосрочным мониторингом (LSHM), которые предоставляют информацию и о не обнаруживаемых невооруженным глазом физических и химических изменениях внутри конструкции.

Инспекции и краткосрочные целевые обследования, нагрузочные испытания дают дискретную в момент времени информацию о состоянии искусственного сооружения, таким образом можно сделать выводы только об изменениях, возникших между двумя обследованиями, измерениями. Однако, на основании этих исследований и измерений невозможно определить процесс изменений, их эволюцию, воздействия, которые вызывали эти изменения, взаимосвязь между изменениями.

О процессах изменений и деградации, поведении конструкции можем получить значительно больше и более точную картину при помощи долгосрочно установленных непрерывно работающих приборов, которые могут быть подготовлены к предоставлению информации даже в квази-реальном времени, к анализу и выдаче сигналов тревоги (система онлайн мониторинга), что значительно повысит надежность системы надзора, позволяя предвидеть

повреждения и содействовать сохранению безопасности дорожного движения (вовремя ввести ограничения).

Хорошо продуманная, хорошо запроектированная и тем самым экономически эффективная, удобная в использовании система мониторинга может играть важную роль в следующих случаях:

- контроль поведения уникальных, необычно запроектированных и/или изготовленных из необычных материалов искусственных инженерных сооружений (даже после пилотного применения, как подготовка введения в регулярное применение какого-то продукта, технологии для приобретения опыта):
 - непрерывные пролетные строения,
 - продольно или поперечно напряженные пролетные строения,
 - новые типы опорных частей и т.д.;
- непрерывный контроль отдельных элементов конструкции крупных искусственных сооружений (например, мосты крупных рек) (например, непосредственно загруженный верхний пояс, основание),
- постоянный контроль искусственных сооружений особого сетевого значения,
- контроль объектов с особой эксплуатационной нагрузкой (скорость, нагрузка на ось и/или интенсивность движения),
- контроль трудно доступных конструктивных элементов из-за конструктивного решения (например, нижняя пояс продольной и главной балки, прерывание продольной балки),
- контроль недоступных из-за интенсивности движения и ограниченные возможности предоставления «окон» конструктивных элементов (например, верхняя пояс главной балки, фермы),
- контроль поведения уже поврежденных конструкций, элементов конструкции,
- отслеживание поведения конструкций в случае изменения нагрузок (например, новая тормозная система подвижного состав, локомотивов).

5.1. Цель системы мониторинга

Потенциальные преимущества использования системы мониторинга:

- Ознакомление с поведением искусственного сооружения, элементов конструкции, отслеживая вплоть до конца всего жизненного цикла (например, путем измерения шума Баркхаузена отслеживание изменения внутренних напряжений уже в процессе производства),
- Во время проектирования и технического обслуживания отслеживание предполагаемого поведения конструкции (например, растягивающее усилие, частота собственного резонанса, реакции опор и т.д.), чтобы обеспечить соответствующую справочную информацию, например, для статического контроля,
- Во время проектирования и расчетов уменьшение факторов безопасности, а именно увеличение уровня безопасности,
- Локализация, отслеживание изменений во времени возникших ранее повреждений (например, трещин),
- Уменьшение частоты регулярных обследований (инспекций),

- В процессе содержания сооружений замена планового предупредительного технического обслуживания с постоянным циклом выполнения работ, а также зависящей от состояния, но не планируемой стратегии содержания со стратегией содержания, основанной на анализе жизненного цикла конструкции, на познании процессов деградации компонентов конструкции и ожидаемого срока службы (выполнение требуемых и оптимизированных мер в оптимальное время, технически и финансово запланируемым способом).

5.2. Мониторинг, обязательно применяемый для вновь созданных искусственных сооружений

В следующих случаях для вновь построенных железнодорожных сооружений обязательной является проектирование, установка и применение системы мониторинга (детали системы и измеряемые параметры должны быть согласованы с Оператором во время проектирования):

- В случае недоступных для осмотра основных несущих конструктивных компонентов. Например,
 - пролётное строение с подвесным потолком, с закрытым корпусом, стены опор,
 - непроходимая, закрытая главная балка,
 - недоступная при помощи обычного вспомогательного оборудования (смотровая тележка) главная балка,
- В случае мостовой конструкции, отличной от обычной конструкции. Например,
 - подвесной и/или кабельный мост,
 - арочный мост типа network.

6. Структура и компоненты мониторинга состояния

Компоненты системы мониторинга:

- контролируемые сооружения, конструкции, например,
 - основание железнодорожного моста, его опорная часть и пролетное строение,
 - тоннели, галереи,
 - другие железнодорожные несущие сооружения (лотки, люки, канавы, железнодорожные весы, поворотный круг и т.д.),
 - инженерно-геологические объекты (например, подпорные стенки и вкладыши),
- датчики (измерительные приборы).
- система(ы) сбора данных;
- промежуточная система(ы) обработки данных,
- передача данных и системы хранения данных,
- система центральной обработки, анализа данных и визуализации результатов.

Шаги, следующие за сбором данных и их хранением:

- управление данными,
- обработка и анализ данных:
 - идентификация системы,

- обновление модели конструкции,
- оценка состояния конструкции,
- оценка ожидаемого срока службы.

7. Планирование и исполнение системы мониторинга

Для создания системы мониторинга в каждом конкретном случае должно быть прописано какие существенные физические параметры необходимо измерять и с какой периодичностью, то есть, какова цель и функция системы.

Кроме того, очень важный вопрос заключается в том, как будут сохранены измеренные (сырые) данные передаются, обрабатываются, отображаются и используются; извлеченные из системы данные - в качестве входных данных – пригодны ли для выполнения планированного анализа (например, для статического контроля, моделирования конструкции, оценки состояния).

Только при выяснении основных требований можно создать достаточно экономически эффективную, поддерживающую деятельность пользователя систему, будь то целевое обследование при помощи краткосрочно установленных приборов (классический SHM) или мониторинг при помощи долгосрочно установленных приборов (LSHM).

Установке системы мониторинга всегда должно предшествовать планирование, охватывающее систему в целом (измерительных приборов, кабелей, сбор данных, обработку данных и т.д.), при котором следует определить:

- измеряемые физические характеристики и их назначение,
- места установки,
- время работы системы:
 - краткосрочное (классический SHM),
 - долгосрочное (LSHM),
- тип установленного оборудования, количество, диапазон измерения,
- способ закрепления оборудования (заклеен, закручен, вспомогательным устройством и т.д.),
- среда установки:
 - железнодорожные эксплуатационные условия, воздействия (например, тормозная пыль),
 - электрифицированная или не электрифицированная железнодорожная линия,
 - станция или перегон,
 - незастроенная местность, городская или промышленная среда,
 - природные барьеры моста (дороги, железные дороги, реки, и т.д.),
 - погодные условия и степень защиты (температура, ветер, осадки, образование льда),
 - защита от вандализма и т.д.,
- требования по измерению данных (частота выборки и точность),
- метод сбора данных:
 - местное хранение (например, локальный жесткий диск),
 - удаленное хранение (например, центральный сервер),
- способ передачи данных:
 - ручное (скачать на месте),

- через кабель,
- через систему GSM,
- с помощью оптической сети MAV и т.д.,
- сроки передачи данных:
 - при превышении предельных значений,
 - немедленно (то есть непосредственно после проезда по мосту),
 - периодически (например, ежедневно/еженедельно/ежемесячно),
 - не могут быть переданы,
- хост-сервер приема данных:
 - центральный сервер,
 - мобильный телефон,
- метод обработки измеренных данных:
 - вручную,
 - автоматический (статистический) и т.д.,
- место обработки измеренных данных:
 - местная обработка (например, на местном сервере),
 - удаленная обработка (например, центральный сервер),
- спрос онлайн предупреждения, оповещения,
- ожидания по оценке обрабатываемых данных (например, уровни предупреждения и сигнализации),
- отображение обработанных данных:
 - графическое,
 - табличное,
 - текстовое,
 - да/нет,
- необходимая для работы потребность в энергии, режим энергоснабжения (от сети, батареи, солнечная энергия, и т.д.);
- соответствие стандартам безопасности (например, в случае подключения к ИТ-системе MAV),
- техническое обслуживание инструментов, оборудования, их эксплуатационные требования, условия, его частота:
 - цикл обмена батареи, установленного устройства,
 - при местном сборе данных способ загрузки данных и частота,
 - метод ремонта и контроля приборов и устройств на месте, частота и т.д.

Общие требования к долгосрочной онлайн системе мониторинга (LSHM):

- продолжительное время работы (мин. 5-10 лет),
- низкие эксплуатационные расходы,
- защита от пыли и воды (минимум IP67),
- быть пригодной для эксплуатации при холодной и жаркой погоде (от -20 до + 80 °C),
- должны оставаться жизнеспособными и точными при загрязнении (например, масло, грязь, тормозная пыль),
- работа при влажной, дождливой погоде,
- исполнение должно быть простым, но надежным,
- быть легко взаимозаменяемым,
- работать от сети 230V/12В/24В, от батареи и/или солнечных батарей,

- составить из дистанционно управляемых устройств, контрольно-измерительных центров,
- данные должны быть сохранены синхронизированными, с метками времени,
- быть расширяемой, и т.д.

Современные системы мониторинга, измерительные приборы, как правило, имеют очень высокую плотность с выборкой до десятков сотен секунды. Такая способность требуется для отслеживания изменений (например, при измерении под подвижным составом, проезжающим по мосту со скоростью 160 км/ч), однако, как следствие – в случае неправильно откалиброванной системы – возникает такое количество данных, которое физически невозможно обрабатывать. Для устранения этой проблемы, решением может быть, если, например,

- выборка происходит только в соответствующем временном интервале (например, систему включает и выключает проезжающее транспортное средство);
- извлеченные исходные данные будут обработаны на месте (например, из результатов измерения тензодатчиков определяется нагрузка на колесо);
- передаются и сохраняются только обработанные и существенные данные (например, нагрузка на колесо, минимальное, максимальное, среднее значение).

Надежность системы, он-лайн функции значительно улучшатся, если ее функциональность, работоспособность контролирует система удаленного надзора (система телемониторинга), обеспечивая оперативную информацию (SMS, электронная почта) о возможных неисправностях (ошибка связи, обрыв кабеля, отключения питания и т.д.). Система удаленного надзора позволяет реже присутствовать на месте мониторинга, а необходимые вмешательства, ремонты могут быть запланированы вне очереди. По этим причинам следует стремиться к применению онлайн-систем мониторинга, интегрированных в систему телемониторинга.

7.1. Центральный сервер сбора данных, обработки данных, хранения, анализа и визуализации

Системы мониторинга с онлайн коммуникацией, установленные в местах на разнообразные конструкции, с целью долгосрочных измерений, построенных с применением различных измерительных приборов должны быть интегрированы в Центральную систему мониторинга, а предоставленные системами мониторинга данные - сырые или обработанные - должны быть переданы центральному серверу совместимым способом.

В то же время Центральная система сама по себе должна быть подготовлена как с программной, так и аппаратной стороны обеспечения для стыковки с новой системой мониторинга, для хранения, обработки, анализа и отображения входящих данных.

7.2. Системы онлайн мониторинга

Для систем мониторинга с онлайн коммуникацией и интегрированных в центральной системе можно определить пороги предупредительных сигналов (порог тревоги) для различных измеренных характеристик и параметров состояния.

Предупредительные пороги могут быть установлены:

- в абсолютном выражении, когда порог тревоги регистрируется в отношении четко определяемого точного значения (например, определенный процент от расчётного или измеренного при пробном нагружении прогиба),
- в относительном выражении, когда порог тревоги определяется на основе экстремумов измеренного значения несущей конструкции в течение трехмесячной опытной эксплуатации.

8. Возможные приборы и оборудования для системы мониторинга

Система мониторинга может быть создана с помощью различных измерительных приборов, датчиков, простого и сложного измерительного устройства путем их координированной установки по критериям, как описано в предыдущей главе. Приборы и инструменты, используемые для краткосрочного целевого обследования (классический SHM) и/или для долгосрочной системы мониторинга (LSHM) систематизированы и приведены ниже без необходимости полноты:

- термометры (для измерения температуры воздуха, рельсов и конструкций),
- камера (видео/запись изображения),
- измеритель нагрузки на ось и конфигурации оси,
- датчик колеса,
- мобильная геодезическая измерительная станция (классический SHM),
- измерители смещения и прогиба:
 - телескопный оптический прогиб,
 - измеритель смещения потенциометрический (например, для измерения прерывания продольной балки, для измерения перемещения опорной части),
 - оптический измеритель для измерения перемещения,
 - лазерный измеритель для измерения перемещения (лазерный дальномер),
 - дифференциальный трансформаторный измеритель перемещения (LVDT),
- тензодатчики:
 - оптическое волокно,
 - лазерный сканер (LiDAR),
- измерители ширины и развития трещины:
 - пенетрационный контроль трещин (классический SHM),
 - магнитно-порошковая дефектоскопия (MPI) (классический SHM),
 - вихретоковый контроль (ET) (классический SHM),

- ультразвуковой контроль (UT) (классический SHM),
- радиографический контроль (RT) (классический SHM),
- дифференциальный трансформаторный измеритель перемещения (LVDT),
- тензодатчик,
- оптическое волокно (например, "зигзаг" датчик, датчик "микроизгибов"),
- датчик CrackFirst®,
- магнитный акустический датчик шума (MAE),
- приборы для измерения напряжения:
 - тензодатчик,
- тест на усталость.
 - Датчик магнитного шума Баркгаузена (MBN):
Обеспечивает неразрушающий контроль стальных конструкций, даёт информацию о структуре материала и напряженном состоянии. Суть метода заключается в том, что изменение структуры материала и/или напряженного состояния и локальное накопление напряжения приводят к процессу намагничивания ферромагнитных материалов, в ходе которого возникают нерегулярные скачки намагничивания (шум Баркгаузена). Эти завихряющиеся повороты генерируют в соответствующим образом расположенной внешней измерительной катушке изменения электрического напряжения, то есть их можно измерять и количественно определять.
 - Датчик CrackFirst® (патент TWI Ltd.):
Представляет собой небольшую стальную пластину с тонким, трещиноподобным отверстием и электрической схемой, которая может быть прикреплена к чувствительному к усталости сварному шву стальной конструкции. В датчике, работающем совместно с конструкцией повторная нагрузка вызывает изменение электрического сигнала, так что кумулятивное повреждение можно проследить непосредственно и предсказать ожидаемый срок службы по усталости.
- Средства для измерения нижнего строения:
 - Тепловые камеры (классический SHM)
 - Георадары (классический SHM)
 - Инклинометр (измерение наклона):
 - Экстензометр:
С использованием магнитного экстензомера определяются просадки насыпей на различных уровнях, над туннелями и используется для определения просадки позади мембранных стен, свайных стен и шпунтовых ограждений.
 - Гидравлическая труба для измерения просадки насыпи.
 - Пьезометр:
Подходящий для измерения уровня грунтовых вод, прибор вибрирующей струны. Служит для контроля давления воды в грунте.

8.1. Комплексные измерительные оборудования

- **MULTIRAIL® SpeedWeight:**
Разработанное и продаваемое немецкой фирмой Schenck Europe GmbH оборудование, которое встроено в специальные железобетонные шпалы, с датчиками очень высокой точности с возможностью определения вертикальной нагрузки на колесо, ось и вагон, типов проезжающих вагонов, а также вычислить переднее/заднее и правое/левое распределение нагрузки. Оборудование используется при скорости от 10 до 250 км/ч также в бесстыковом пути.

- **Gotcha Monitoring Systems:**
система для качественного и количественного измерения обеспечит в режиме реального времени информацию при скорости движения от 30 до 330 км/ч. Полученные данные:
 - распределение нагрузки и нагрузка на колесо,
 - колесные дефекты и акустический шум,
 - качество букс,
 - целостность пантографа.

9. Требования к измеряемым параметрам

К испытательным нагрузкам, целевым испытаниям и краткосрочным целевым испытаниям (классический SHM) или долгосрочному мониторингу (LSHM) применяются различные приборы и оборудование с самыми разнообразными измерительными свойствами. Ожидания относительно характеристик состояния, параметров и косвенно приборов, оборудования, системы сбора и обработки данных определяет организация, управляющая железнодорожной инфраструктурой.