



Центр научно-технической информации и библиотек  
– филиал ОАО «РЖД»

## Дифференцированное Обеспечение Руководства

---

29/2023

### Система мониторинга железнодорожного полотна на основе трехкомпонентных широкополосных сейсмических датчиков

Железнодорожные составы в движении являются источником вибраций, негативно воздействующих на земляное полотно. Его обследование традиционно выполняется с помощью датчиков-акселерометров, которые записывают ускорение и нацелены на фиксацию высокочастотных вибраций грунта. Акселерометры устанавливаются непосредственно под железнодорожный путь или рядом с ним и далее – вдоль откоса насыпи и внутри нее.

Ученые Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения РАН (ФИЦКИА) разработали метод автоматизированного мониторинга состояния насыпи железнодорожного полотна при помощи широкополосных сейсмических датчиков – велосиметров. Данная методика позволяет оценить параметры скорости именно низких частот колебания грунта, что дает возможность на ранних этапах замечать проседание земляного полотна. В данной методике движущиеся поезда являются источником сигнала для исследования состояния насыпи.

Применять широкополосные велосиметры для подобных исследований не было возможным, так как ранее они были громоздкими, требовались определенные условия для их установки, то есть они не подходили для задач мониторинга в полевых условиях.

С развитием технологий совершенствовалась и сейсмологическая аппаратура. Появились датчики небольших размеров, необходимой чувствительности и широким диапазоном регистрируемых частот. Они просты в обращении, пригодны для решения различных задач. Именно их и начали применять при реализации данного проекта.

Исследования проводились в арктических условиях – на ряде участков Северной железной дороги в Онежском районе Архангельской области. Для репрезентативности в целях исследования были отобраны как стабильные, так и ослабленные участки. Трехкомпонентные широкополосные датчики были установлены у основания насыпи железнодорожного полотна (рис. 1). Они позволили получить картину так называемой релаксации<sup>1</sup> грунта после прохождения поездов.



Рис. 1. Установка оборудования у основания насыпи железнодорожного полотна

Анализ сейсмической записи проходящих поездов в широкой полосе частот показал (рис. 2), что присутствуют низкочастотные колебания не только во время прохождения поезда, но и после. Был подобран низкочастотный фильтр, и стала обозрима реакция грунта на воздействие проходящего состава. Было установлено, что проседание насыпи происходит сильнее в направлении поперек железнодорожного пути, а не как считается – по вертикали.

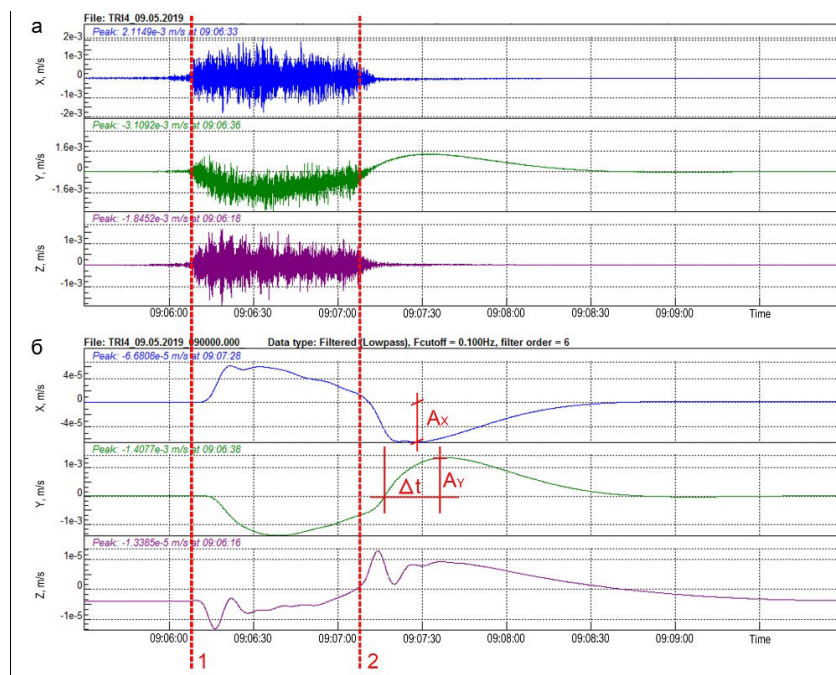


Рис. 2. Характерный вид волновых форм, зарегистрированных широкополосным сейсмометром при движении поезда мимо датчика: а) исходная запись поезда; б) с применением низкочастотного фильтра 0,1 Гц.

<sup>1</sup> Релаксация грунта – снижение прочностных характеристик

Следует отметить, что природа высокочастотных и низкочастотных воздействий на земляное полотно различна. В первом случае это взаимодействие колес-рельс, во втором – нагрузка от железнодорожного состава аналогична действию движущегося штампа<sup>2</sup>. Здесь реакция земляного полотна на низкочастотные воздействия определяется упругими свойствами грунта. Учитывая, что при сейсмической регистрации колебаний, создаваемых движущимся поездом, добавочная деформация в точке наблюдения среды пропорциональна амплитуде колебаний, то, анализируя динамику изменения амплитуд низкочастотных воздействий во времени, можно определять изменение состояния грунта.

Данная система непрерывного мониторинга проводилась в период с конца апреля по конец июня 2022 года, то есть охватила процесс оттаивания грунта. Дальнейший анализ участков сейсмической записи релаксации грунта после прохождения состава в области сверхнизких частот (ниже 0,1 Гц) позволил подобрать наиболее информативные параметры, реагирующие на изменения свойств грунта. Это отношение амплитуд горизонтальных составляющих и интервал времени между окончанием прохождения поезда и максимальным отклонением амплитуды в поперечном направлении относительно железнодорожного пути. Полученные параметры автоматической обрабатывались специальной программой.

Преимущества разрабатываемой технологии автоматизированного мониторинга железнодорожного полотна по сравнению с эпизодическими обследованиями:

- возможность получения сведений о наиболее сложно определяемых характеристиках грунта: модуле сдвига в насыпи и коэффициенте вязкости его основания;
- возможность обнаружения ослабленных мест грунта на ранней стадии их развития с последующей локализацией;
- отсутствие необходимости в специальном отборе образцов грунта, так как исследования проводятся в условиях естественного залегания;
- не требуются специализированные источники внешних сигналов;
- отсутствие нарушения графика движения поездов.

Как утверждает зав. лабораторией сейсмологии ФИЦКИА УрО РАН, д.т.н. Галина Антоновская:

«Данную методику автоматизированного мониторинга железнодорожной насыпи, мы разрабатывали с нуля. Благодаря использованию трехкомпонентных широкополосных сейсмических датчиков нам удалось

---

<sup>2</sup> Штамповые испытания – один из методов полевых исследований, которые применяют при проведении инженерно-геологических изысканий; характеристики грунта определяют по результатам его нагружения вертикальной нагрузкой в забое горной выработки с помощью штампа.

увидеть новое явление – процесс релаксации грунта после прохождения поезда. Наша технология направлена на предотвращение аварийности, но она ни в коей мере не заменяет существующие методы, а дополняет их. Технология может увидеть развитие негативных процессов на ранних стадиях, что позволяет выявить ослабленные места заблаговременно и далее принять необходимые меры по их обследованию.

Мы связались с коллегами из Российского университета транспорта, кафедры Путь и путевое хозяйство, и они заинтересовались в наших наработках. Сейчас мы объединились для проработки деталей разрабатываемой технологии.

Данной методикой заинтересовались также в Канаде, так как там подобные грунтовые условия: распространены торфяные болота и вечная мерзлота, что оказывает непосредственное влияние на устойчивость железнодорожных путей. Обобщающая статья по полученным результатам исследований была опубликована в специализированном канадском журнале *Canadian Geotechnical Journal*».

*Источники: cdnsciencepub.com (англ. яз.), 12.12.2022  
nauka.tass.ru, 07.12.2022  
new.ras.ru, 12.12.2022*