

Применение численного решения обратной задачи при контроле жесткости упруго-деформируемого основания

четверг, 20 марта 2025 г. 12:20 (20 минут)

В настоящее время для контроля и обеспечения качества грунтовых оснований широко используются устройства, основанные на использовании ударно-динамических источников приложения нагрузки [1, 2]. Работа таких устройств сосредоточена на измерении значения прогиба грунта под нагрузочной плитой датчиком акселерометра. Жесткость оценивается только по максимальному (пиковому) значению прогиба. Подход, основанный на оценке пиковых значений, приводит к значительным ошибкам измерений [3]. Для решения этой проблемы используется метод обратной задачи. Это позволит учитывать как динамику процесса ударного нагружения, так и влияние неконтролируемых мешающих факторов, связанных с нелинейной жесткостью и просадкой грунта под нагрузкой.

Метод обратной задачи основан на математическом моделировании процесса ударно-динамического нагружения. Результатом моделирования являются значения ускорения скорости и перемещения нагрузочной плиты. Параметры модели учитывают нелинейную жесткость контролируемого основания и просадку от ударной нагрузки [4, 5]:

$$\begin{cases} m_1 \cdot x_1'' = -k_1 \cdot (x_1 - x_2) - m_1 \cdot g \\ (m_2 + \Delta m) \cdot x_2'' = -k_2(x_2) + k_1 \cdot (x_1 - x_2) - c_2 \cdot x_2' - (m_2 + \Delta m) \cdot g, \\ k_2(x_2) = k_{21} + k_{22} \cdot x_2, \\ x_3 = x_2 - F_{max}/k_2, \end{cases}$$

где m_1 – масса падающего груза, кг; x_1 – перемещение падающего груза, м; k_1 – жесткость упругого элемента, расположенного на штампе, Н; m_2 – масса штампа, кг; m – инерционная масса подвижного грунта, кг; x_2 – перемещение штампа, м; k_{21}, k_{22} – коэффициенты функции жесткости основания $k_2(x_2)$; c_2 – коэффициент демпфирования основания, кг · с/м; x_3 – просадка основания, м; F_{max} – максимальная нагрузка, при которой возникает просадка основания, Н.

После измерения ускорения нагрузочной плиты параметры модели подбираются таким образом, чтобы минимизировать разницу между смоделированными и экспериментальными сигналами. Это позволяет определить упругие характеристики грунта, путем сопоставления модельных и экспериментальных результатов измерений.

Применимость метода численного решения обратной задачи исследовалась при сравнительных испытаниях измерения статического и динамического модуля деформации уложенного балласта железнодорожного пути. По результатам испытаний установлено, что измерения динамического модуля деформации согласуются со значениями, полученными при статических испытаниях, с погрешностью не более 8%. Также обнаружено влияние условий положения камней балласта под нагрузочной пластины на результаты измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. Некоторые предпосылки применения динамического плотномера к определению модуля деформации грунта // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2018. Т. 9. №3. С. 28-35. DOI:10.15593/2224-9826/2018.3.03.
2. Dina Kuttah. Determining the resilient modulus of sandy subgrade using cyclic light weight deflectometer test // Transportation Geotechnics. 2021. № 27. P. 100482. DOI: 10.1016/j.trgeo.2020.100482.
3. Adam, C. Computational assessment of the dynamic load plate test with the light falling weight device / C. Adam, I. Paulmichl // ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Rethymno, EU. –2007.
4. Выплавень, В. С., Бехер С.А. Упруго-линейная модель динамического контроля жесткости балластного слоя железнодорожного пути // Интеллектуальные системы в производстве. –2023. Т. 21, № 1. С. 4-13. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-1-4-13.
5. Выплавень, В. С. Использование численного решения обратной задачи для совершенствования метода динамического штампа для контроля балластного слоя / В. С. Выплавень, С. А. Бехер // Контроль. Диагностика. –2024. –Т. 27, № 11(317). –С. 4-13. –DOI 10.14489/td.2024.11.pp.004-013.

Научный руководитель

д.т.н, доцент, Бехер Сергей Алексеевич, behers@mail.ru, ФГБОУ ВО СГУПС, Новосибирск

Секция

Молодежная секция

Основной автор: ВЫПЛАВЕНЬ, Владимир Сергеевич (Сибирский государственный университет путей сообщения)

Докладчик: ВЫПЛАВЕНЬ, Владимир Сергеевич (Сибирский государственный университет путей сообщения)

Классификация сессии: Молодежная секция. Стендовые доклады.

Классификация трека: Физические основы неразрушающего контроля и диагностики.