

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧЕГО ТЕЛА И ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО СВОЙСТВ

© 2024 г. Владимир Сергеевич Выплавень^{1*}, С. А. Бехер¹

¹ – *Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049 Новосибирск,
ул. Дуси Ковальчук 191*

* - *vladimir97927@gmail.com*

В контексте взаимодействия рабочего тела и объекта контроля, численное решение обратной задачи динамики играет важную роль. Оно позволяет оценить свойства объекта контроля, такие как масса, сила и другие параметры, на основе известных данных о движении и воздействиях. Для решения обратной задачи используются физические и математические модели. С их помощью описываются физические процессы в объекте контроля, учитывая свойства материала, его геометрические параметры и граничные условия. Результатом моделирования являются теоретические диагностические сигналы неразрушающего контроля, которые могли бы быть получены в реальных условиях при заданных параметрах.

При решении обратной задачи теоретические диагностические сигналы сравниваются с зарегистрированными сигналами датчиков, измеряющих ту физическую величину, которая используется в модели. Критерием оценки совпадения теоретических и экспериментальных сигналов может являться значение корреляции сигналов или расстояние Евклида. Алгоритмам численного решения обратной задачи уделяется внимание в работах расчета модуля упругости дорожных одежд [1-3] и ультразвуковой дефектометрии [4]. Эти работы направлены на исследование применимости обратной задачи в измерении контролируемой величины и повышении точности результатов измерений.

В работе рассматривается использование численного решения обратной задачи для оценки упругих свойств балластной призмы при динамической нагрузке штампом, заключающееся в следующем. На балласт устанавливается нагрузочный штамп. С определенной высоты вдоль направляющей штанги на штамп падает груз. Нагрузка от этого груза передается через пружину, расположенную между штампом и грузом. При ударе штамп оказывает динамическое воздействие на балласт, которое эквивалентно нагрузке при эксплуатации [5]. Диагностическим сигналом с установки динамического штампа является вертикальное смещение штампа во время удара грузом. В общем виде модель перемещения штампа описывается дифференциальными уравнениями движения:

$$\begin{cases} m_1 \cdot \ddot{u}_1 = -k_1 \cdot (u_1 - u_2) \\ m_2 \cdot \ddot{u}_2 = -k_2 \cdot u_2 + k_1 \cdot (u_1 - u_2) - c_2 \cdot \dot{u}_2' \end{cases} \quad (1)$$

где m_1 – масса груза, кг; m_2 – масса штампа с рабочей массой балласта, кг; u_1 – смещение груза, м; u_2 – смещение штампа, м; k_1 – жесткость пружины, Н/м; k_2 – жесткость балласта, Н/м, c_2 – вязкость балласта, Н·с/м.

Решение обратной задачи заключалось в поиске значений параметров m_2 , k_2 , c_2 , u_2 таких, чтобы смоделированные диагностические сигналы были максимально близки к сигналам, полученным с установки динамического штампа. Решалась оптимизационная задача:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^N \dot{u}_2^i - \dot{U}_2^i/N} + \sqrt{\sum_{i=1}^N \ddot{u}_2^i - \ddot{U}_2^i/N} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где u_2^i – смоделированное значение смещения штампа в момент времени i , м, U_2^i – значение сигнала перемещения с установки динамического штампа в момент времени i , м, N – количество точек в сигнале.

Проведена серия экспериментов по оценке упругих характеристик уплотненного щебеночного балласта, в которых сравнивались значения модуля упругости балласта, полученных при статическом нагружении и при численном решении обратной задачи динамики. Сравнительные испытания показали расхождение в результатах не более 10 %.

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. Duddu S.R., Chennarapu H. Quality control of compaction with lightweight deflectometer (LWD) device: a state-of-art // International Journal of Geo-Engineering. 2022. V. 13, No. 6. DOI: 10.1186/s40703-021-00171-2.
3. Sysyn M., Gerber U., Liu J., et. al. Studying the Relation of the Residual Stresses in the Ballast Layer to the Elastic Wave Propagation // Transportation Infrastructure Geotechnology. 2023. V. 10. P. 962–987. DOI: 10.1007/s40515-022-00249-z.
4. Бадалян В.Г. Выявление и достоверность контроля в ультразвуковой дефектоскопии и дефектометрии // Контроль. Диагностика. 2020. № 7. С. 4–17. DOI 10.14489/td.2020.07.pp.004–017. – EDN ETCQKF.
5. Kuttah D. 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.